

DER PHYSIK UND CHEMIE.

BAND CXXV.

I. Ueber das Verwitterungs-Ellipsoid wasserhaltiger Krystalle¹⁾; von Carl Pape.

1. **V**or einiger Zeit habe ich Gelegenheit gehabt, bei krystallisirten wasserhaltigen Salzen den Anfang und das allmähliche Fortschreiten der Verwitterung mehrfach genauer zu beobachten. Es ergab sich, daß die Verwitterung von einzelnen Punkten aus sich nach und nach über die ganze Oberfläche und in das Innere des Krystalls verbreitet. Die so gebildeten, anfänglich isolirten Verwitterungsflecke waren ohne Ausnahme äußerst scharf begränzt und zeigten eine auffallend regelmäßige, vollständig symmetrische Form, die den Eindruck genauer Ellipsen machte. Die entsprechenden Axen der Flecke einer Fläche waren unter einander und auf gewissen Flächen bestimmten Kanten der Fläche parallel. Bei den Flecken verschiedener Flächen zeigte es sich, daß sie sämmtlich vorzugsweise nach einer, auch krystallographisch bevorzugten Richtung ausgebildet waren. Bei nicht zu dicken, klaren Krystallen einzelner Salze, namentlich des 1- und 1gliedrigen Kupfervitriols, an dem diese Beobachtung zuerst gemacht ist, konnte von der Rückseite die Form der verwitterten Salzmasse im Innern des Krystalls beobachtet werden. Sie war von einer der Form der Flecke entsprechenden, sehr scharf abgegränzten, anscheinend ellipsoidischen Oberfläche begränzt.

Die absolute Gröfse der parallelen Flecke ist auf jeder

1) Vorläufige Mittheilungen über diese Untersuchung befinden sich in den »Nachrichten v. d. königl. Gesellschaft d. Wissensch. in Göttingen«, 1865, No. 3 und diese Annalen Bd. 124, S. 329; mit einem Zusatz, auch: »Zeitschrift für Chemie« Neue Folge, Bd. 1, S. 207.

Fläche eine sehr verschiedene, sie schwankt von der Ausdehnung eines mit bloßem Auge kaum bemerkbaren Punktes bis zu der Länge eines Millimeters und oft auch darüber. Eine Messung der beiden senkrechten Hauptrichtungen verschiedener Flecke ergab, daß ihr Verhältniß auf einer und derselben Fläche ein constantes ist, gleichzeitig aber auch, daß es sich mit dem krystallographischen Werthe der Flächen ändert und daß diese Aenderung in einer gewissen, mit der Lage der Flächen zusammenhängenden Regelmäßigkeit stattfindet.

Bei verschiedenen anderen Krystallen der übrigen Systeme sind darauf gleichfalls die scharf begränzten Verwitterungsfiguren beobachtet. Es hat sich ganz allgemein dieselbe auffallende Regelmäßigkeit in ihrer Lage und Form herausgestellt. Es schien somit eine directe Abhängigkeit der Form und der Richtung der Verwitterungsfiguren von dem krystallographischen Werthe der einzelnen Flächen und dem Krystallsysteme vorzuliegen.

Einzelne Salze zeigen die Figuren in einer seltenen Reinheit und Schärfe schon beim Verwittern an freier Luft in der gewöhnlichen Stubentemperatur. So kann man an einem frisch aus der Lösung genommenen und sorgfältig abgetrockneten Glaubersalzkrystalle bereits nach 5 oder 10 Minuten sehr große ellipsenartige Flecke beobachten. Zinkvitriol zeigt unter gewissen Verhältnissen nach einem oder zwei Tagen isolirte, oft mehr als millimeterlange Flecke von auffallender Schärfe und Regelmäßigkeit.

Die Leichtigkeit, mit welcher sich die Verwitterungsfiguren bilden und das Auffällige ihrer ganzen Erscheinung ließen vermuthen, daß sie bereits eingehender beobachtet wären und namentlich, daß man sich bereits Klarheit über die Art des unverkennbaren Zusammenhanges ihrer Form und Richtung mit dem Krystallsysteme verschafft hätte. Meine Bemühungen, etwas hierauf Bezügliches aufzufinden, sind gänzlich erfolglos gewesen, kaum, daß man die Regelmäßigkeit der Flecke beobachtet zu haben scheint. Das Einzige, was ich nachträglich noch zufällig habe entdecken

können, ist eine Notiz von Grailich in seiner Bearbeitung der Miller'schen Krystallographie¹⁾. Er erwähnt daselbst kurz in ein paar Zeilen, daß die Verwitterungsfiguren sehr regelmäsig gebildet seyen und daß das sehr wahrscheinlich im Zusammenhange mit dem Krystallsysteme stehe.

Bei diesem völligen Mangel jeder Beobachtung dieser interessanten und dem Anscheine nach für die Physik der Krystalle äußerst wichtigen Erscheinung, habe ich sie weiter verfolgt und sie zum Gegenstande einer ausgedehnten Untersuchung gemacht. Der Erfolg ist ein sehr belohnender gewesen. Es haben sich in kaum erwarteter Einfachheit die interessantesten Resultate herausgestellt. Es läßt sich bereits jetzt, obwohl die messenden Beobachtungen noch keineswegs auf alle Krystallsysteme haben ausgedehnt werden können, das Gesetz angeben, nach welchem die Form und Lage der Flecke von dem Krystallsystem abhängt. Ich stehe deshalb auch nicht an, die Resultate meiner Untersuchung, so weit sie vorliegen, bereits jetzt in dem Folgenden mitzutheilen.

Bei der beobachteten Regelmäßigkeit in der ganzen Erscheinung der Flecke, ihrer Form und einer deutlich vorherrschenden Richtung in ihrer Lage, lag die Annahme einer sehr einfachen Abhängigkeit der Verwitterungsart von dem Systeme und der Form des betrachteten Krystalles sehr nahe. Die Trennung des Wassers von dem bei der Verwitterung zurückbleibenden Salze muß bei einem Krystalle in der Richtung am schwierigsten seyn, nach welcher er vorzugsweise ausgebildet ist und von der man annehmen kann, daß in ihr bei der Bildung des Krystalles die größte Kraft gewirkt und die vorzugsweise Lagerung der Wassermoleküle stattgefunden hat. Die Verwitterung würde hier nach am schnellsten in der kleineren, am langsamsten in der größeren Krystallaxe fortschreiten.

Man besitzt in den rechtwinkligen Axen, welche man für jeden Krystall so wählen kann, daß er durch dieselben

1) Lehrbuch der Krystallographie von Prof. W. H. Miller. Uebersetzt und erweitert durch Dr. J. Grailich. Wien 1856. S. 230.

symmetrisch getheilt wird, Gröfsen, durch die man sich die Maxima und Minima der bei der Krystallbildung thätig gewesenen Kräfte nach Gröfse und Richtung ausgedrückt vorstellen kann. Beim 6gliedrigen Systeme hat man drei zur Hauptaxe senkrechte gleiche Axen angenommen, die sich unter gleichen Winkeln schneiden. Ein solches Axensystem ist auch für die vorliegende Erscheinung brauchbar, da es die Bedingungen der Symmetrie erfüllt, es ist deshalb hier zunächst beibehalten.

Denkt man sich nun die Verwitterung von einem Punkte im Inneren des Krystalls aus möglich, so müfste die verwitterte Masse zu irgend einer Zeit von einer symmetrisch gebildeten Oberfläche umschlossen seyn, deren Mittelpunkt der Verwitterungspunkt wäre und deren Hauptdurchmesser in die Richtung der Krystallaxen fielen. Man würde also die beobachteten Flecke als Durchschnitte dieser Oberfläche mit der betreffenden Krystallfläche ansehen können und es wäre möglich, die Natur der Oberfläche aus der der beobachteten Verwitterungsfiguren zu bestimmen.

Die ganze Erscheinung der Flecke, ihre Form, ihre Richtung und die regelmässige Aenderung in dem Werthe ihres Axenverhältnisses mit dem krystallographischen Werthe der Flächen, macht die Existenz einer solchen jedem Krystalle eigenthümlichen Oberfläche, also auch eines besonderen mit den Krystallaxen zusammenfallenden Verwitterungsaxensystemes sehr wahrscheinlich. Am Nächsten liegt es, ein im Allgemeinen dreiaxiges Ellipsoid anzunehmen, weil andere Eigenschaften der Krystalle, wie z. B. ihre Wärmeleitungsfähigkeit nach den verschiedenen Richtungen durch die Leitstrahlen eines Ellipsoides dargestellt sind. Die Verwitterungsfiguren müfsten hiernach im Allgemeinen Ellipsen seyn, so auf allen Flächen der dreiaxigen Krystalle mit Ausnahme derjenigen, welche zufällig den Kreisschnitten des Ellipsoides parallel wären, auf diesen müfsten sie dann Kreise seyn. Bei den Krystallen des 4- und des 6gliedrigen Systemes müfsten auf den Flächen parallel und geneigt zur Hauptaxe Ellipsen und auf der Fläche senk-

recht zur Hauptaxe, um die der Krystall symmetrisch gebildet ist, Kreise beobachtet werden, weil hier das Ellipsoid ein um diese Axe gebildetes Rotationsellipsoid seyn würde. Endlich im regulären Systeme würde die Oberfläche eine Kugel seyn und auf allen hier möglichen Flächen müßten Kreise beobachtet werden.

Beobachtungen an Krystallen der verschiedenen Systeme haben die Ansicht in der angedeuteten Weise bestätigt. So der reguläre Chromalaun überall genaue Kreise, sowohl auf den Flächen $[111]$, wie auf $[100]$ und $[011]$ ¹⁾. Das 4gliedrige Blutlaugensalz zeigt Ellipsen auf $[111]$, Kreise dagegen auf $[001]$. Der 2- und 2gliedrige Zinkvitriol zeigt auf den beobachteten Flächen $[111]$, $[110]$, $[100]$ und $[010]$ Ellipsen; in gleicher Weise verhält sich das 2- und 2gliedrige unterschwefelsaure Natron. In den beiden letztgenannten Systemen ist auf den Säulenflächen immer eine der Axen der Verwitterungsfiguren der Hauptaxe des Krystalls parallel; ferner kann auf den Octaëderflächen des 4gliedrigen und den Flächen $[okl]$ und $[hol]$ des 2- und 2gliedrigen Systemes immer durch eine Ellipsenaxe, die Flächennormale und die Hauptaxe eine Ebene gelegt werden. Hieraus und aus dem Umstande, daß die Größenverhältnisse der Axen auf gleichwerthigen, nicht parallelen Flächen constant sind, folgt, daß hier das Verwitterungssystem mit dem krystallographischen zusammenfällt.

Die Krystalle des 6gliedrigen Systemes allein machen eine Ausnahme, sie zeigen nicht die erwartete Form der Verwitterungsfiguren. Sie verhalten sich auffallender Weise wie regulär krystallisirte Körper. Krystalle von unterschwefelsaurem Bleioxyd, Strontian und Kalk zeigen auf der Endfläche sowohl, wie auf den Flächen des Grundrhomboëders und des ersteren stumpferen Rhomboëders Kreise. Die Verwitterungsoberfläche ist hier also nicht ein Rotationsellipsoid, wie man es erwarten mußte, sondern eine Kugel. Es scheint diese Beobachtung ein ganz besonderes Interesse beanspruchen zu dürfen, da sie Auf-

1) Bei Bezeichnung der Krystallform, der Fläche und der Zone sind die Indices bez. in verticale Striche, runde und eckige Klammern eingeschlossen.

schluss zu geben verspricht über die eigenthümliche Bedeutung des für sich schwer erklärlichen 6gliedrigen Systemes.

In Uebereinstimmung mit der ausgesprochenen Ansicht ist die Erscheinung ferner beobachtet unter anderen auf den 2- und 1gliedrigen Glaubersalze, Eisenvitriol und unterschwefligsauren Natron, ebenso auf dem 1- und 1gliedrigen Kupfervitriol. Bei der im Allgemeinen grofsen Complicirtheit der Formen dieser Systeme läfst sich hier nicht so einfach ein sicherer Schluss ziehen auf die Natur der Verwitterungsoberfläche und die Lage ihres Axensystemes zu dem des Krystalls. Nur das ergibt sich sofort, dafs ein einfacher Zusammenhang zwischen Richtung und Form der Flecke und den schiefwinkligen Axen nicht besteht, auf die man die Formen dieser Systeme zu beziehen pflegt.

Die Beobachtungen haben gezeigt, dafs auch für das 2- und 1gliedrige System ein dreiaxiges Verwitterungs-ellipsoid besteht, und dafs die Krystallformen zu den Axen desselben symmetrisch liegen. Auf diese rechtwinkligen Axen bezogen erscheinen die Formen dieses Systemes als parallelfächige Hemiedrien des 2- und 2gliedrigen Systemes.

In Folgenden theile ich die Beobachtungen mit, aus denen diese Schlüsse gezogen sind und die eine wirkliche Bestimmung der Axen verschiedener Verwitterungsellipsoide möglich gemacht haben. Den Anfang werde ich machen mit der Untersuchung des Eisenvitrioles und dann daran schliessen die ebenfalls vollendet vorliegenden Resultate, welche die Beobachtungen am 2- und 2gliedrigen Zinkvitriol und am 6gliedrigen unterschwefelsauren Bleioxyd, Strontian und Kalk geliefert haben.

2. Bevor ich mich zur Angabe der Beobachtungsergebnisse selbst wende, werde ich noch etwas näher auf einige Einzelheiten eingehen, die zum Verständnifs der fraglichen Erscheinung in ihrem ganzen Umfange erforderlich scheinen. Es beziehen sich dieselben namentlich auf die Erzeugung der Flecke, die Umstände unter denen sie sich bilden, ihre äufsere Erscheinung und endlich auf die Art und Weise,

wie die Messung ihrer Axen ausgeführt, und welche Methode bei der Berechnung der Axen des Verwitterungs-ellipsoides befolgt ist.

Nach den vorliegenden Beobachtungen an einer grösseren Zahl der verschiedensten wasserhaltigen Krystalle geht die Verwitterung stets von einzelnen Punkten aus unter Bildung der Verwitterungsflecke, die eben Gegenstand dieser Untersuchung sind. Die Temperatur, bei der die Verwitterung beginnt, ist bei den verschiedenen Salzen verschieden; man kann im Allgemeinen annehmen, obwohl es nicht streng gültig ist, daß die Salze um so leichter verwittern, je mehr Aequivalente Wasser sie enthalten. Bei einzelnen Salzen genügt schon die gewöhnliche Zimmertemperatur, um die Flecke in bester Form hervorzubringen. Es ist dies namentlich auffällig bei dem Glaubersalze und dem Zinkvitriole, wie schon erwähnt ist. Auch der Chromalaun zeigt seine kreisförmigen Verwitterungsflecke, wenn er längere Zeit offen an der Luft liegt. Man wird sich davon am Leichtesten bei der Beobachtung der großen Exemplare überzeugen, die man in den Sammlungen von diesem Salze aufbewahrt. Die Erscheinung tritt bei den genannten Krystallen in einer so auffallenden Reinheit und Deutlichkeit auf, daß es wunderbar ist, wie sie so lange hat unbeachtet bleiben können.

Bei den meisten Salzen ist es zur Erzeugung der Flecke nöthig, die Krystalle auf eine höhere Temperatur zu erhitzen. Bei den von mir untersuchten Salzen schwankt die erforderliche Temperatur von 29° C. bis zu 78° C. So verwittert Chromalaun gewöhnlich erst bei 29° C., Zinkvitriol, Eisenvitriol und unterschwefligsaures Natron bei ungefähr 33° , unterschwefelsaures Bleioxyd bei 53° , unterschwefelsaures Natron bei 55° , Chlorbarium bei 58° , Kupfervitriol bei 46° , unterschwefelsaurer Kalk und Strontian bei 78° .

Es ist bei diesen Angaben vorausgesetzt, daß die angewandten Krystalle sich in dem Zustande befinden, in welchem sie sich allein zur Erzeugung scharf begränzter und für die Beobachtung tauglicher Verwitterungsfiguren eig-

nen. Sie müssen zu dem Ende unmittelbar nach dem Herausnehmen aus der Mutterlauge ebenso sorgfältig auf sämtlichen Flächen abgetrocknet werden, als ob sie zu krystallographischen Messungen dienen sollten. Versäumt man Dies und läßt die nach oberflächlichem Abtrocknen zurückbleibende Schicht Mutterlauge auf den Flächen eintrocknen so pflegen die Krystalle weit leichter zu verwittern; außerdem werden in diesem Falle die Figuren nicht immer so regelmäsig und so scharf begränzt. Man kann diese Beobachtung sehr leicht am Zinkvitriole machen. Oberflächlich abgetrocknete Krystalle dieses Salzes verwittern in freier Luft, während das bei Krystallen mit vollkommen ebenen und spiegelnden Flächen nicht der Fall ist. Ebenso verwittern durch Aneinanderreiben in einem gemeinsamen Gefäße oder durch Ritzen äußerlich verletzte Krystalle leichter als unverletzte. Hiernach ist es auch erklärlich, weshalb bei ursprünglich ganz tadellosen Krystallen die Verwitterung, sobald sie nur erst eingeleitet ist, auch bei einer etwas niedrigeren Temperatur ihren regelmäsigigen Fortgang nimmt, als die ist, welche zur Einleitung erforderlich war.

Es erfordert die Herstellung brauchbarer Flecke grofse Aufmerksamkeit. Einmal muß die Temperatur, bei welcher die Verwitterung eingeleitet wird, durch vorläufige Versuche sehr angenähert festgestellt werden. Ferner muß man sich vor Beginn des eigentlichen Versuches versichert haben, daß die Temperatur des Apparates die so gegebene Gränze nicht überschreiten kann. Sodann muß sorgfältig der Moment der Einleitung der Verwitterung abgepaßt werden, um die Temperatur dann etwas erniedrigen zu können, weil sonst die Bildung der Flecke zu rasch und unregelmäsig vor sich geht. Die Unregelmäsigkeit wird wahrscheinlich daher rühren, daß die Verwitterung nicht mehr allein von dem ursprünglichen Mittelpunkte aus sich verbreitet, sondern auch ungleichmäsig von Stellen am Rande des Fleckes aus. Bei einer Temperatur, welche die eigentliche Verwitterungstemperatur nur wenig überschreitet

wird von 'bis dahin unverletzten Stellen aus keine neue Verwitterung beginnen, sie wird dann immer nur gleichmäfsig an den durch die verwitterte Masse begränzten und durch diese verletzten Theilen des Randes der Flecke fortschreiten und so eine regelmäfsige Figur bilden.

3. Um die verschiedenen Bedingungen zu erfüllen, also namentlich um eine beliebige constante Temperatur leicht zu erreichen und sie ebenso leicht auch regeln, sie nach Bedürfnifs erniedrigen oder erhöhen zu können, bediene ich mich eines Luftbades von folgender einfachen Einrichtung.

Das eigentliche Luftbad ist ein Blechcylinder von 120^{mm} Höhe und 100^{mm} Durchmesser, der durch einen übergreifenden Deckel geschlossen wird. In dem Deckel sind mehrere kleine cylindrische Blechröhren in verschiedenem Abstände von der Mitte angebracht, um darin ein Thermometer in verschiedenen Lagen befestigen zu können; sie dienen gleichzeitig als Ausgangsöffnungen für die am unteren Ende des Cylinders seitlich eindringende Luft. Im Inneren enthält der Cylinder ein Blechtischchen mit mehren Oeffnungen zur Aufnahme kleiner Porzellantiegel mit den zu untersuchenden Salzen. Unter diesem Tischchen befindet sich ein zweites aus Pappe, um die directe Wärmestrahlung des erhitzten Bodens von dem Salze abzuhalten.

Der Blechcylinder ruht im Innern eines auf einem Tische aufgestellten prismatischen Pappkastens ohne Boden auf dem Ringe eines ausserhalb aufgestellten Stativs, wie man es an den Berzelius'schen Lampen hat, und wird darauf durch einen von oben aufgedrückten zweiten Ring festgehalten. Ein verticaler Schlitz in der einen Wand des Kastens erlaubt ein Auf- und Abschieben des Luftbades. Oben ist der Kasten durch einen lose aufgelegten Pappdeckel mit niedergebogenen Rändern und einer Oeffnung für den Stiel des Thermometers geschlossen. Eine Spirituslampe, aus einem kleinen Präparatengläse mit weitem Halse und einer mittelst eines Korkes aufgesetzten, etwa 3^{mm} weiten Glasröhre angefertigt, erwärmt den Apparat. Bei der schlech-

ten Wärmeleitung des Glases kann man durch Eindrücken des Doctes die Flamme bis auf die kleine Höhe von 1^{mm} reduciren und hat es somit in der Hand, jede beliebige Temperatur in dem abgeschlossenen Raume hervorzubringen. Bei der geringen Gröfse der Flamme bleibt die Temperatur sehr lange constant, oft tagelang wenn die Temperatur des Zimmers keine zu große Schwankungen zeigt. Um diese Constanz dauernd zu erreichen, wird das Spiritusniveau in der Lampe durch eine Heberverbindung mit einem größeren Spiritusgefäße außerhalb des Kastens constant erhalten.

Diese Trockenvorrichtung hat sich ungeachtet ihrer großen Einfachheit, für den vorliegenden Zweck in jeder Beziehung bewährt. Die Wahl eines Luftbades überhaupt gewährt den Vortheil, daß ein nicht beabsichtigtes zu hohes Ansteigen der Temperatur durch bloßes Oeffnen des Apparates und Zuführen einer größeren Menge kalter Luft momentan rückgängig gemacht werden kann. Sodann erlaubt die Einrichtung eine äußerst genaue Einstellung der Temperatur, bis auf 1° C. Es wird dies erreicht, je nach Wunsch, durch eine Veränderung des Spiritusniveaus der Lampe, durch ein höher oder niedriger Stellen des Blechkastens am Stativ oder endlich durch ein mehr oder weniger vollkommenes Schließen des Schlitzes im Pappkasten durch Baumwolle. Plötzliche Störungen von Außen können nicht eintreten, da die Luft nur durch die Fugen des Pappkastens, durch die sie ein- und austritt, mit der Umgebung in Verbindung steht.

4. Um in diesem Apparate die Verwitterungsflecke zu erzeugen, wird zunächst die Verwitterungstemperatur durch vorläufige Versuche für das betreffende Salz ungefähr festgestellt und die Zeit beobachtet, innerhalb welcher die Flecke eine zweckmäßige Gröfse erlangt haben. Ist dies einmal geschehen, so hat es keine große Schwierigkeit zu jeder beliebigen Zeit die Flecke zum Zwecke der Messung zu erzeugen, obwohl es bei einzelnen Salzen auch dann noch oft vom Zufalle abhängt, ob die Flecke die gewünschte

Reinheit zeigen. In vielen Fällen empfiehlt es sich, die Salze erst dann in den Apparat zu bringen, wenn er bereits die verlangte Temperatur zeigt, weil dann der ganze Raum im Pappkasten schon erwärmt ist und die Operation rasch und sicher beendet werden kann. Es gilt dies namentlich für die Salze, die, wie z. B. Zinkvitriol, sehr leicht verwittern. Bei anderen weniger leicht verwitternden Salzen ist es ziemlich gleichgültig, ob man die Salze in den erwärmten Apparat legt oder sie gleichzeitig mit demselben erwärmt. Ist die Verwitterungstemperatur aber sehr hoch, wie z. beim Kupfervitriol oder unterschwefelsauren Kalk, also ein Zerspringen der Krystalle zu befürchten, wenn sie mit einem Male dieser Temperatur ausgesetzt werden, so muß das gleichzeitige Erwärmen von Apparat und Salz vorgezogen werden.

Bei einem und demselben Krystalle ist die Verwitterungstemperatur für Flächen verschiedener Art häufig sehr verschieden. So verwittern beim Zinkvitriole die Octaederflächen weit schwieriger als die Säulenflächen, die ersteren sind oft noch ganz spiegelnd, während die letzteren bereits ganz verwittert sind. Namentlich auffallend ist dies beim 6gliedrigen unterschwefelsauren Bleioxyd. An demselben sind stets die Flächen des ersten stumpferen Rhomboëders völlig unversehrt, wenn die des Grundrhomboëders schon ganz verwittert sind; sie verwittern aber gleichfalls sobald die Verwitterung bis an ihre Gränze vorgedrungen ist. Will man isolirte Flecke auf diesen Flächen darstellen, so muß man von vorne herein eine höhere Temperatur anwenden.

5. Eine an und für sich, aber auch mit Rücksicht auf die vorliegende Untersuchung interessante Frage ist noch die nach der chemischen Zusammensetzung der Substanz der Flecke, ob sie wasserfrei ist, oder ob sie Wasser enthält und wie viel. Diese Frage wird von Wichtigkeit werden, sobald es sich darum handelt, den Zusammenhang zwischen der Größe der Verwitterungsaxen und der krystallographischen Axen zu untersuchen. Es ist wahrschein-

lich, daß die beiderlei Axen sich umgekehrt verhalten werden, wenn die verwitterte Masse wasserfrei ist, weil dann die Verwitterung genau das Entgegengesetzte der Bildung des wasserhaltigen Krystalls bewirkt hat; das Verhältniß wird ein anderes seyn, wenn die zurückbleibende Salzmasse nicht wasserfrei ist und es wird im Allgemeinen abhängen von der Menge des ausgetretenen Wassers.

Ich glaube, daß die Entscheidung dieser Frage nicht wohl von der vorliegenden Untersuchung getrennt werden darf, wenn diese einem allseitig befriedigenden Abschlusse entgegen geführt werden soll; ich habe mich deshalb auch schon mehrfach damit beschäftigt und werde sie eingehender behandeln, sobald mir die Beobachtung der Verwitterungsfiguren die Zeit dazu läßt. Bei einzelnen Salzen liegen Beobachtungen vor und danach geht das Wasser beim Verwittern stets in ganzen Aequivalenten fort, und zwar so, daß nach dem Verluste einer gewissen Anzahl Aequivalente die Temperatur wieder um ein Gewisses steigen muß, wenn ein neuer Wasserverlust eintreten soll.

Beim Zinkvitriole geht bei der Temperatur, bei welcher sich die beobachteten Flecke bilden, alles Wasser bis auf 1 Aeq. fort. Der Eisenvitriol verliert bei der entsprechenden Temperatur 3 Aeq. Wasser. Der Kupfervitriol verliert bei 46° C. 2 Aeq. Wasser, bei 56°, das dritte, bei 59° das vierte Aequivalent. Das letzte Aequivalent Wasser verlieren alle diese Salze erst bei sehr hoher Temperatur.

Es ist mir bis jetzt noch nicht gelungen z. B. beim Kupfervitriol auf einer und derselben Fläche Flecke von verschiedenem Axenverhältnisse hervorzubringen, wie es nach den mitgetheilten Beobachtungen der Fall seyn müßte, wenn man den Krystall zuerst auf die Temperatur brächte, bei der bereits 3 Aeq. Wasser fortgehen, und ihn dann auf die gewöhnliche Verwitterungstemperatur abkühlen liesse. Es wird auch schwer seyn, beide Erscheinungen gesondert zu erhalten, es wird im günstigsten Falle nur eine Vermischung beider auftreten, da der Krystall zuerst die niedrigere Temperatur annehmen muß, auch wenn er in einen

heißeren Raum gebracht wird. Ich halte es nicht für unmöglich, daß eine Vermischung von zweierlei Ellipsenarten beim Kupfervitriol einer der Gründe ist, weshalb bei diesem Salze die Flecke so sehr schwierig in der Schärfe und Reinheit zu erhalten sind, wie bei anderen. Das Salz verwittert sehr schwer, es muß zur Einleitung der Verwitterung auf eine Temperatur erhitzt werden, die weit die Temperatur überschreitet, bei welcher 2 Aeq. Wasser fortgehen und die auch höher ist als die dem Verluste von 3 Aeq. Wasser entsprechende. Läßt man nach der Einleitung der Verwitterung die Temperatur auch wieder sinken, so bleibt es doch immer schwieriger, von oben herab die richtige Temperatur zu treffen und es wird da schwer ein Durcheinander-Entstehen zweierlei Ellipsenarten zu verhindern seyn. Die hier angeregte Frage wird sich nur durch die Beobachtung an solchen Salzen entscheiden lassen, die mit verschiedenem Wassergehalte krystallisirt erhalten werden können.

6. Die äußere Erscheinung der Verwitterungsfiguren, deren Beobachtung und Messung den eigentlichen experimentellen Theil dieser Untersuchung bildet, ist mit ganz geringen Unterschieden dieselbe bei den verschiedenen Salzen. Sie sind im Allgemeinen äußerst regelmäsig gebildet und so vollkommen scharf begränzt, daß man selbst nicht unter dem Mikroskope Ungleichförmigkeiten an den Rändern bemerkt. Namentlich scharf tritt die Figur bei dunkel gefärbten Krystallen hervor und bei den wasserhellen Krystallen dann, wenn dafür gesorgt ist, daß die Erleuchtung der Krystallfläche nur von oben stattfindet. Bei den meisten Krystallen sind die mittleren Theile der Figur etwas über der Krystallfläche erhaben, bei anderen tritt diese Erhöhung erst nach der Entfernung aus dem Luftbade durch Wasseranziehen ein. Die Mehrzahl der Krystalle zeigt im Mittelpunkte der Figur eine Vertiefung, die ebenso wie die von diesem Punkte ausgehenden radialen Risse der verwitterten Masse und das ab und an bemerkbare Aufblättern der Krystallfläche in der Umgebung

des Fleckes secundäre Erscheinungen sind und nicht nothwendiger Weise mit der Verwitterung auftreten. Die Verwitterung dringt in den Krystall ein und bei hellen und durchsichtigen, nicht zu dicken Exemplaren läßt sich von der Rückseite die ellipsoidartige Verwitterungsoberfläche beobachten.

Häufig scheinen die Verwitterungsfiguren auf derselben Fläche verschiedene Form zu haben, z. B. Ellipsen und Kreise zu seyn. Eine genauere Beobachtung zeigt aber, daß eine Täuschung vorliegt. Man erkennt leicht, daß bei einem anscheinend kreisförmigen Flecke zwei nebeneinander entstandene Ellipsen mit den kurzen Axen aneinander gewachsen sind und daß entweder die beiden vertieften Verwitterungsmittelpunkte oder doch die Einbiegungen an den Durchschnittsstellen der beiden Randcurven vorhanden sind. In derselben Weise erklärt sich das gleichzeitige Auftreten von ausnahmsweise langgestreckten Ellipsen durch Zusammenwachsen der großen Axen zweier Flecke von normaler Form.

Nicht bei allen Krystallen ist es gleich leicht, genau geschlossene, isolirte Verwitterungsfiguren hervorzubringen, es bilden sich oft nur parallele Linien in einer der krystallographischen Hauptrichtungen und vielfach diese gleichzeitig mit untermischten Flecken. Durch diese Eigenthümlichkeit zeichnet sich der Zinkvitriol aus, die Linien laufen hier z. B. auf den Säulenflächen parallel der Krystallhauptaxe. Vielleicht liegt der Grund hiervon darin, daß die Temperatur zu rasch gestiegen ist, daß der Krystall in Folge zu rascher Ausdehnung gerissen ist und daß sich nun längs den Rissen eine Menge Verwitterungsmittelpunkte gebildet haben. Beim Eisenvitriol sehe ich hierin auch mit den Grund, weshalb dort auf der Zone $\{000\}$ die Flecke parallel der Axe A häufig sehr lang, ohne sehr scharfe bestimmte Begränzung ausgebildet sind und erkläre es mit dadurch, daß ich für die Axenverhältnisse der Ellipsen auf den Flächen dieser Zone anfänglich andere Werthe gemessen habe, als nachträglich, nachdem ich auf diese Eigen-

thümlichkeit aufmerksam geworden war. Man erhält die Flecke am Leichtesten in ihrer richtigen, allseitig scharf begrenzten Form, wenn man bei ihrer Darstellung in der oben beschriebenen Weise verfährt. Um eine Veränderung der äußeren Form zu vermeiden, empfiehlt es sich die Krystalle unmittelbar aus dem Luftbade unter den Messapparat zu bringen.

Unter einer großen Zahl von Flecken, wie sie auf einer einigermaassen großen Krystallfläche immer auftreten, finden sich stets einige die durch störende Einflüsse der genannten Art nicht vollkommen ausgebildet sind. Je grösser die Flecke sind, desto ungenauer sind sie im Allgemeinen. Zum Zweck der Messung ist es daher gerathen unter den dem Augenscheine nach am gleichmässigsten ausgebildeten Flecken die kleineren zu wählen. Ich habe gefunden, dass die Flecke von etwa 0,2 bis 0,3^{mm} Länge allen Anforderungen vollkommen genügen, sie sind namentlich auch hinreichend gross, um bei der Messung den Einfluss der Beobachtungsfehler auf ein Minimum zu reduciren.

7. Um die Ansicht zu prüfen, ob ein Verwitterungsellipsoid im Allgemeinen für wasserhaltige Krystalle angenommen werden kann und welche Lage die Axen desselben zu den Krystallen haben, ist es nöthig, einmal das Axenverhältniss der Verwitterungsfiguren zu messen und sodann die Richtung festzustellen, welcher auf einer Fläche die entsprechenden Axen der Figuren parallel sind.

Zu beiderlei Bestimmungen habe ich mich eines Rebsold'schen Mikroskop-Mikrometers bedient, das mir durch die Güte des Hrn. Prof. Weber für die Dauer meiner Beobachtungen zur Verfügung gestellt ist. Das Instrument vergrößert etwa 20fach, also in einer für solche Beobachtungen sehr angemessenen Weise. Zum Zweck der Messung ist im Innern des Instrumentes ein System von mehreren Fäden mit seltener Genauigkeit angebracht. Einer der Fäden fällt mit der Richtung der Mikrometerschraube zusammen und wird rechtwinklich von zwei einander sehr nahe liegenden Parallelfäden geschnitten; ausserdem wird er noch

an einem Punkte von zwei unter spitzem Winkel geneigten Fäden so durchkreuzt, daß die Halbierungs-Linie des spitzen Winkels senkrecht zu ihm steht. Für die Beobachtung sind nur die drei ersteren Fäden gebraucht.

Das Instrument steht bei der Messung vertical. Der in der Richtung der Mikrometerschraube liegende Faden wird mit der zu messenden Axe des horizontal gestellten Fleckes zur Deckung gebracht und das Ende dieser Axe durch Drehung der Schraube genau auf die Mitte zwischen den parallelen Fäden eingestellt. An einer senkrecht zur Schraube außerhalb an derselben angebrachten getheilten Trommel von etwa 40^{mm} Durchmesser wird darauf ihre Stellung an einer Marke abgelesen. Hiernach wird die Schraube so lange gedreht, bis das andere Ende der Axe sich mitten zwischen den Parallelfäden befindet, und wiederum die Stellung der Marke abgelesen. Die Anzahl der Umdrehungen und die abgelesenen Bruchtheile geben die Länge der Axe in den Einheiten des Instrumentes. Nach einer Drehung des Krystalls um 90° um die Axe des Instrumentes wird die zweite Axe des Fleckes ebenso gemessen. Durch Division beider Zahlen durcheinander wird das gesuchte Axenverhältniß des Fleckes unabhängig von den Einheiten des Instrumentes erhalten. Bei der scharfen Begränzung der Flecke, der gänzlichen Abwesenheit eines todtten Ganges der Mikrometerschraube und der Leichtigkeit der Einstellung zwischen die Parallelfäden läßt sich die Messung mit großer Schärfe ausführen, so daß bei Flecken nicht kleiner als 0,2^{mm} die zweite Decimale im Werthe der Axenverhältnisse verbürgt werden kann. Diefes Resultat ist um so sicherer erreicht, als jede einzelne Länge mindestens zweimal vorwärts und zweimal rückwärts gemessen ist, um die Gewißheit zu haben, daß die Lage des Fleckes während der Messung nicht verändert sey.

Zur sicheren Ausführung der Messung trägt ferner noch eine Einrichtung des Apparates bei, die es gestattet, den Krystall nach Belieben von allen Seiten, nur von vorne oder nur von oben zu beleuchten. Die Möglichkeit, das

Lich
len
Kry
weil
wäh
nich

sehr
Flec
ist.
Kry
die
des
den
kro
wit
ges
Fle
zu
De
Ste
an
rich
du
Ste
ab
Un
we
lan
da
zu
fun
mt
vo
fs
se

Licht nur von oben auf die horizontale Krystallfläche fallen zu lassen, ist für wasserhelle oder schwach gefärbte Krystalle von Wichtigkeit, weil man dadurch die Flecke weiß auf dunklem Grunde scharf begränzt erhalten kann, während sonst eine genaue Erkennung ihrer Begränzung nicht möglich ist.

Für die Zuverlässigkeit der gemessenen Werthe ist es sehr wesentlich, daß die Krystallfläche, auf welcher die Flecke gemessen werden sollen, genau horizontal gestellt ist. Um dies möglichst vollkommen zu erreichen, wird der Krystall mit Wachs auf ein ebenes Brettchen geklebt und die fragliche Fläche nach dem Augenmaafse der Ebene des Brettchens parallel gerichtet. Darauf wird letzteres mit dem Krystalle auf den horizontalen Tisch unter das Mikroskop gelegt und beobachtet, ob die verschiedenen Verwitterungsflecke auf jeder Stelle der Fläche gleich deutlich gesehen werden. Bei der äußerst scharfen Begränzung der Flecke ist ein Unterschied in der Deutlichkeit sehr leicht zu bemerken, und man kann daher eine überall gleiche Deutlichkeit als genügenden Beweis für die horizontale Stellung der Fläche ansehen. Wollte man die Reflexion an der Fläche benutzen und einen besonderen, der Vorrichtung an den Goniometern ähnlichen, Apparat in Anwendung bringen, so würde man ohne Frage die horizontale Stellung mit noch größerer Sicherheit erreichen können, aber gleichzeitig würde man auch die Schwierigkeiten der Untersuchung um einen beträchtlichen Theil vermehren, ohne wesentlich günstigere Endresultate zu erhalten. Man erlangt bei vielen Versuchen sehr bald eine große Sicherheit darin, die Krystallfläche nach dem Augenmaafse horizontal zu stellen. Ich habe nur in seltenen Fällen nach der Prüfung unter dem Mikroskope eine Aenderung vornehmen müssen, und glaube deshalb die angewandte Methode als vollkommen zweckdienlich empfehlen zu können. Bei großen Krystallflächen ist man am wenigsten Fehlern ausgesetzt, nur bei sehr kleinen Flächen, auch wenn sie bei grö-

flacherer Länge sehr schmal sind, tritt Unsicherheit ein; solche Flächen habe ich deshalb auch gar nicht zu den Beobachtungen benutzt, sondern sie stets von einer solchen Ausdehnung gewählt, daß Zweifel nicht entstehen konnten.

Bei jeder einzelnen Messung kann, wie schon bemerkt, die zweite Decimale des beobachteten Axenverhältnisses verbürgt werden, da nur augenscheinlich fehlerfreie Flecke von einer bestimmten Minimalgröße zur Beobachtung benutzt sind. Wenn trotzdem die verschiedenen Beobachtungen eine etwas geringere Uebereinstimmung zeigen, so liegt der Grund davon wohl nur in anderen Fehlerquellen, die auf die Messung selbst keinen Einfluss haben. Es scheinen mir im Ganzen drei Fehlerquellen vorhanden zu seyn. Die eine hat ihren Grund in dem bei der Horizontalstellung begangenen Fehler, die andere darin, daß einzelne Flecke, ungeachtet der anscheinenden Tadellosigkeit, doch kleine Abweichungen von der normalen Form zeigen, die man unmöglich bei der Auswahl erkennen kann. Die dritte Fehlerquelle kann darin begründet seyn, daß man nie mit absoluter Schärfe den in der Richtung der Mikrometerschraube gelegenen Faden mit der zu messenden Axe zur Deckung bringen kann. Es kann die Einstellung nur nach dem Augenmaasse geschehen und hierbei ist ein Beobachtungsfehler unvermeidlich. Bei einem einigermaassen großen Werthe des Axenverhältnisses ist er leicht auf ein Minimum zu reduciren, nur in den Fällen kann er sich bemerklicher machen, in welchen das Verhältniß wenig von der Einheit verschieden, die richtige Einstellung also schwierig ist. Es zeigt sich dieß z. B. beim Eisenvitriole bei den Flächen von $[001]$ und $[104]$, auf denen das Axenverhältniß ein kleines ist.

Die im Folgenden mitgetheilten Beobachtungen werden zeigen, daß diese Fehlerquellen Zweifel an der Richtigkeit der Zahlenresultate nicht begründen. Nur vielleicht in dem sehr seltenen Falle, daß auf einer Flächenart nur ein oder zwei Flecke haben beobachtet werden können, kann man Bedenken tragen, einer beobachteten Zahl ohne Weiteres

zu v
deren
Z
ment
tung
Faden
rallen
einen
Kant
ware
groß
8
rung
Krys
kein
bare
Größ
Ver
das
durch
zwei
sich
seyn
witt
und
won
es
der
sche
ten
so
rige
läre
sich
gen

zu vertrauen, wenn keine Mittel vorhanden sind, sie in anderer Weise zu prüfen.

Zur Bestimmung der Hauptrichtung der Flecke und namentlich zur Prüfung, ob eine der Axen einer Hauptrichtung des Krystalls parallel sey, hat entweder der einzelne Faden oder das zu ihm senkrechte System der beiden Parallelfäden gedient. Es wurde der einzelne Faden mit der einen Axe zur Deckung gebracht und gesehen, welcher Kante der Fläche er oder die beiden Parallelfäden parallel waren. Bei der Länge der Fäden war diese Prüfung mit großer Sicherheit auszuführen.

8. Nachdem durch eine große Reihe von Verwitterungsversuchen und vorläufige Messungen an verschiedenen Krystallen die Erscheinung der Flecke geprüft war und es keinem Zweifel mehr unterliegen konnte, daß ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen dem Krystallsysteme nach Größe und Richtung der Axen einerseits und der Art der Verwitterung anderseits bestehe, handelte es sich darum, das fragliche Gesetz für bestimmte krystallisirte Substanzen durch genaue Beobachtungen festzustellen. Die möglichst zweckmäßige Wahl der Salze mußte, um dies möglichst sicher zu erreichen, die zunächst zu erfüllende Bedingung seyn. Das Salz mußte bei passender Einleitung der Verwitterung namentlich die Flecke leicht in großer Reinheit und Schärfe liefern. Dabei mußte sein Krystallsystem womöglich das allgemeinste, also ein dreiaxiges seyn, und es mußten die Krystalle eine möglichste Mannigfaltigkeit der Flächen darbieten, um die über das Wesen der Erscheinung ausgesprochene Ansicht nach verschiedenen Seiten hin genügend prüfen zu können.

Es ist nicht zu verkennen, daß durch die Wahl eines so allgemeinen Falles die Untersuchung bedeutend schwieriger werden mußte. Aber da die Beobachtung am regulären Chromalaun und am 4gliedrigen Blutlaugensalze, wenn sich an diesem letzteren die Flecke auch nicht zu Messungen eigneten, die Ansicht bestätigt hatte, so schien die

Wahl eines dreiaxigen Krystalles gerechtfertigt. Eine Bestätigung des aufgestellten Gesetzes in diesem allgemeinen Falle würde außerdem sehr für die Gültigkeit desselben in anderen weniger allgemeinen Fällen gesprochen haben.

Die Ausführung der Untersuchung in dem angedeuteten Sinne wurde mir durch andere günstige Umstände wesentlich erleichtert. Ich war im Besitze einer großen Menge schöner Krystalle eines dreiaxigen Salzes, des 2- und 1 gliedrigen Eisenvitriols, das sich sowohl rücksichtlich der Erzeugung der Flecke als auch ganz besonders wegen seines seltenen Flächenreichtums vorzüglich zu dieser Untersuchung eignet. Mehrere dieser Krystalle waren fast einen Zoll dick und zeigten die meisten Flächen in beträchtlicher Ausdehnung. Hr. Prof. Werther in Königsberg i. Pr. hat die Güte gehabt, mir diese selten schönen Krystalle zum Zwecke dieser Untersuchung zur Verfügung zu stellen, und mir im Laufe derselben noch eine große Zahl von derselben Beschaffenheit darstellen zu lassen.

Die Darstellung der Untersuchung des 2- und 1 gliedrigen Eisenvitrioles wird uns im Folgenden zunächst beschäftigen. Sie wird ausführlicher gehalten seyn, als es später bei der Mittheilung der an anderen Salzen erhaltenen Resultate der Fall seyn wird, eines Theils weil sie dazu dienen soll, die Richtigkeit der aufgestellten Ansicht in ihren verschiedenen Theilen nachzuweisen, anderen Theils aber auch, um verschiedene Punkte von allgemeinerer Bedeutung an einem speciellen Beispiele zu erörtern.

Eisenvitriol ($\text{FeSO}_4 + 7\text{H}_2\text{O}$). 2- und 1gliedrig.

9. Die 2- und 1gliedrigen Formen lassen sich mathematisch einfacher auf ein rechtwinkliges Axensystem als auf das gebräuchliche schiefwinklige beziehen und zwar so, daß sie dann in ihren Haupttheilen als parallelsächige Hemiedrie des 2- und 2gliedrigen Systemes erscheinen. So sind die

als rhombische Prismen bezeichneten Formen als halbe 2- und 2 gliedrige Octaëder anzusehen. Diefes rechtwinklige Axensystem hat sich für die Verwitterungserscheinungen von Bedeutung erwiesen; die Lage der Verwitterungsfiguren weist direct darauf hin. Bei dem Eisenvitriole ist die senkrechte Verbindungslinie der stumpfen Kanten des gewöhnlich beobachteten rhombischen Prismas eine dieser Axen (*B*), die beiden anderen liegen in der Ebene der scharfen Prismenkanten so, daß eine derselben (*C*) mit der Normale der hinteren schiefen Endfläche zusammenfällt. Wird die letztere zur Hauptaxe gewählt und werden die Parameter des Krystalls

$$A : B : C = 0,2795 : 0,3295 : 1$$

angenommen, so sind die beobachteten Formen, auf deren Flächen die Verwitterungsfiguren gemessen sind, folgende zehn ¹⁾:

1) zweigliedrige Formen,

a) Octaëderflächen

$\begin{array}{|l} 111 \\ 124 \\ 122 \end{array}$ (das rhomb. Hauptprisma)

b) Domenflächen

$\begin{array}{|l} 023 \end{array}$;

2) eingliedrige Formen,

a) Domenflächen (Hemidomen)

$\begin{array}{|l} 101 \\ 104 \\ 102 \\ 904 \end{array}$ (basische Endfläche)

b) Endflächen

$\begin{array}{|l} 010 \\ 001 \end{array}$ (hintere schiefe Endfläche).

1) Bei der Bestimmung des krystallographischen Zeichens der Krystallflächen, nach der durch Miller verbreiteten Methode durch Angabe der Indices, habe ich mich hier und im Folgenden der Winkelmessungen bedient, denen Rammelsberg in seinem Handbuche der krystallographischen Chemie und dem Supplemente dazu (Berlin 1855 und 1857) den Vorzug einräumt.

Es stellt Fig. 1 Taf. III eine Ansicht eines vollkommenen Eisenvitriolkrystalles in der durch die Axen in Fig. 2 näher bezeichneten Stellung dar. Die Kreuze auf den einzelnen Flächen bezeichnen die Axen der Flecke nach ihrer Richtung und andeutungsweise nach ihrer Gröfse. Durch die Messungen hat sich ergeben, dafs auf der Fläche (001) [ebenso auf (00 $\bar{1}$)] die kleine Axe des Fleckes der gröfseren Krystallaxe *B*, die gröfsere der kleineren Krystallaxe *A* parallel ist. Ferner hat sich gezeigt, dafs in der Zone [000] auf den Flächen von |101|, |104|, |102| und |904| die eine Axe der Flecke (die gröfsere) der Zonenaxe, also der Krystallaxe *B* parallel ist, und dafs die andere (die kleinere) mit der Flächennormale und der Krystallaxe *C* in einer Ebene liegt. Auf der Fläche (010) [und (0 $\bar{1}$ 0)] liegt die kleinere Axe des Fleckes der Axe *C*, die gröfsere der Axe *A* parallel. In der Zone [u00] läuft auf den Flächen der aufser |001| und |010| allein noch vorhandenen Form |023| die grofse Axe der Flecke parallel der Axe *A*, die kleinere liegt mit der Flächennormale und *C* in einer Ebene.

Da aus den im Folgenden mitgetheilten Messungen die Constanz der Axenverhältnisse auf derselben und gleichwerthigen Flächen und die regelmäfsige Aenderung mit dem Werthe der Flächen folgt, somit also die Existenz einer bestimmten Verwitterungsoberfläche wahrscheinlich gemacht ist, so folgt aus der eben angegebenen Lage der Flecke auf den Zonen [u00] und [000], *dafs die rechtwinkligen Axen der Oberfläche genau mit dem eingeführten rechtwinkligen krystallographischen Axensysteme zusammenfallen.*

Auf den Flächen der sehr spitzen Octaëder |111|, |124| und |122| liegen die Flecke so, dafs ihre kleinere Axe nahezu mit der Flächennormale und der Axe *C* in einer Ebene liegt. Man erkennt aus der Lage der Flecke leicht die Nothwendigkeit, sie als Schnitte der Krystallflächen mit derselben Oberfläche anzusehen, auf die die Betrachtung der übrigen Flächen führt. Die Constanz der Axenverhältnisse auf allen Flächen einer dieser Formen, also auch

zweier nicht paralleler Flächen, die sich wie ($\bar{1}24$) und ($\bar{1}\bar{2}4$) in einer der Ebenen AC oder BC schneiden, liefert einen neuen Beweis für das Zusammenfallen der beiderlei Axensysteme.

Die folgenden Tabellen enthalten die auf den verschiedenen Flächen beobachteten Axenverhältnisse der Verwitterungsflecke. Die über den einzelnen Zahlenreihen befindlichen römischen Zahlen bezeichnen die No. des Krystalls, an dem die Beobachtungen angestellt sind. Die Zahl unter dem Strich ist das Mittel aus den darüberstehenden Zahlen.

I. Octaëder $|124|$.

1. Fläche ($\bar{1}24$).

II.	V.	VI.	VII.	VIII.
1,423	1,456	1,454	1,449	1,449
1,400	1,405	1,439	1,434	1,415
1,459	1,453	1,438	1,428	1,437
1,457	1,421		1,426	1,464
1,400	1,449		1,433	
	1,447			
1,428	1,439	1,443	1,434	1,441

Mittel aus diesen 23 Beobachtungen = 1,436.

2. Fläche ($\bar{1}\bar{2}4$).

II.	V.	VI.	VII.	VIII.
1,430	1,446	1,426	1,399	1,412
1,438	1,414	1,463	1,421	1,449
1,412	1,416	1,448		1,453
1,427		1,410		
1,418		1,424		
1,398		1,444		
		1,453		
		1,424		
1,421	1,425	1,437	1,410	1,438

Mittel aus diesen 22 Beobachtungen = 1,428.

3. Fläche

(124).

II.

1,397

1,393

1,399

1,405

1,402

1,433

1,407.

4. Eine nicht näher bestimmbare

Fläche von |124|.

III.

1,406

1,410

1,443

1,424

1,418

1,420

IV.

1,436

1,420

1,430

1,439

1,443

1,434

Das Mittel aus allen 61 Beobachtungen = 1,429 ist in der Folge den Rechnungen zu Grunde gelegt.

II. Octaëder |122|.

1. Fläche (122).

II.

1,543

III.

1,498

V.

1,468

VI.

1,496

1,518

1,514

1,499

1,504

1,509

1,529

1,507

1,519

1,497

1,463

1,508

1,529

1,500

1,559

1,568

1,519

1,524

1,484

1,500

Mittel aus diesen 19

Beobachtungen = 1,512.

2. Fläche (122).

II.

1,533

III.

1,489

V.

1,473

VI.

1,465

1,500

1,555

1,508

1,476

1,488

1,530

1,488

1,538

1,507

1,528

1,491

1,476

Mittel aus diesen 12

Beobachtungen = 1,504.

3. Fläche (122).

II.

1,508

1,510

1,558

1,525.

4. Eine nicht näher bestimmbare

Fläche von |122|.

VII.

1,533

1,486

1,490

1,500

1,502.

Das in der Folge benutzte Mittel aus den vorstehenden 38 Beobachtungen ist = 1,509.

Ein Vergleich der bis jetzt gewonnenen Resultate zeigt, daß das Axenverhältniß auf derselben Fläche bei demselben und anderen Krystallen constant ist. Es zeigt aber ferner ein Vergleich der für eine Fläche und die ihr gleichwerthige aber nicht parallele Fläche erhaltenen Zahlen, daß das Axenverhältniß überhaupt für alle Flächen einer und derselben Form denselben constanten Werth hat. So stimmen die Mittelwerthe für $(\bar{1}24)$ und $(\bar{1}\bar{2}4)$, nämlich 1,433 und 1,428, und für (122) und $(1\bar{2}2)$, nämlich 1,510 und 1,504 vollkommen mit einander überein. Ein Blick auf die angegebenen Zahlen zeigt, daß sich dasselbe Resultat mit demselben Grade der Uebereinstimmung schon bei jeder einzelnen der verschiedenen Beobachtungsreihen zeigt, und es würde nicht nöthig gewesen seyn, eine so große Zahl von Beobachtungen anzustellen, um diese Ueberzeugung zu gewinnen. Bei den noch übrigen Formen ist die Zahl der angestellten Beobachtungen auch eine weit geringere. Der Grund weshalb an den zuerst aufgeführten Formen so zahlreiche Messungen ausgeführt sind, liegt darin, daß an diesen hauptsächlich auftretenden Flächen die Erscheinung namentlich auch deshalb untersucht ist, um zu sehen, wie sich verschiedene Krystallexemplare in Bezug auf die Verwitterung verhalten. Das Resultat ist also, daß die Verwitterung bei verschiedenen Krystallen genau in der gleichen Weise erfolgt.

III. Hauptoctaëder $[111]$.

1. Fläche $(\bar{1}11)$.

v. 11

1,475

1,457

1,441

1,392

1,439

1,433

1,439

2. Fläche $(\bar{1}\bar{1}1)$.

v. 11

1,410

1,403

1,421

1,437

1,453

1,425

Mittel aus sämmtlichen Beobachtungen = 1,433.

IV. Doma [023].

Große Verwitterungsaxe parallel der Krystallaxe A.

3. Eine nicht näher be-

1. Fläche (023) 2. Fläche (0 $\bar{2}$ 3) stimmbare Fläche von [023]

IX.	IX.	XII.	XIII.
1,472	1,471	1,514	1,502
1,489	1,487		1,490
1,457	1,456		1,491
1,456	1,450		1,489
1,484	1,507		
1,487	1,474	1,514	1,493
1,478			
1,467			
1,507			
1,461			
1,456			
1,474			

Mittel aus sämtlichen 21 Beobachtungen = 1,480.

Es findet auch hier, bei Krystall No. IX eine volle Uebereinstimmung statt zwischen den Werthen des Axenverhältnisses auf den beiden nicht parallelen Flächen. Die Flächen, an denen auf XII und XIII beobachtet ist, können als (023) oder (0 $\bar{2}$ 3) angesehen werden; die Abweichung der auf diesen Krystallen erhaltenen Werthe von dem ersteren Mittel 1,474 ist nicht größer, wie bei den einzelnen Zahlen von IX.

V. Hemidoma [101].

1. Fläche (101)

2. Fläche ($\bar{1}$ 0 $\bar{1}$)

III.	III.
1,361	1,341
1,338	1,384
1,349	1,330
1,324	1,332
1,358	
1,347	
1,323	
1,343	1,347

Mittel aus allen 11 Beobachtungen = 1,344.

VI. Hemidoma [104].

Die Beobachtungen haben an zwei Krystallen nur an je einer Fläche angestellt werden können.

IX.	X.
1,081	1,093
1,097	1,114
	1,123
<u>1,089</u>	<u>1,110</u>

Mittel aus den 5 Beobachtungen = 1,102.

VII. Hemidoma [102].

Die Beobachtungen haben an drei Krystallen auch hier nur an je einer Fläche angestellt werden können.

I.	III.	IV.
1,264	1,289	1,283
1,263	1,254	1,259
1,287	1,245	1,292
	1,267	1,288
	1,268	
<u>1,271</u>	<u>1,265</u>	<u>1,280</u>

Mittel aus allen 12 Beobachtungen = 1,271.

VIII. Hemidoma [904].

1. Fläche (904)

III.	VI.
1,400	1,374
	1,371
	1,428
	1,445
	1,417
	<u>1,403</u>
<u>1,400</u>	<u>1,406</u>

2. Fläche (904)

VI.
1,395
1,370
<u>1,383</u>

Mittel aus den 12 Beobachtungen = 1,400.

IX. Endflächen [010].

X.	XI.	XII.	XIII.	XIV.
1,619	1,591	1,591	1,614	1,584
1,575	1,590			1,608
	1,605			1,621
<u>1,597</u>	<u>1,595</u>	<u>1,591</u>	<u>1,614</u>	<u>1,604</u>

Mittel aus allen 10 Beobachtungen = 1,601.

X. Endflächen $\{001\}$.

1. Fläche (001)		2. Fläche (00 $\bar{1}$)	
III.	IV.	III.	IV.
1,138	1,145	1,186	1,135
1,146	1,137		1,158
1,147	1,174		1,180
	1,183		1,151
	1,154		1,150
	1,145	1,186	1,156
	1,168		
	1,169		
	1,172		
1,144	1,161		

Mittel aus sämmtlichen 18 Beobachtungen 1,158.

Der kleine Werth des Axenverhältnisses und die dadurch bedingte grössere Schwierigkeit beim Einstellen der Axen auf die Fäden des Mefsapparates erklärt hier bei $\{001\}$ sowohl, wie bei $\{104\}$ die etwas geringere Uebereinstimmung unter den einzelnen Zahlen.

Die hier mitgetheilten Zahlen weichen zum Theil um ein Geringes, und in ein Paar Fällen nicht ganz unbedeutend von denen ab, die in den Göttinger Nachrichten veröffentlicht sind; es bedarf dieß einer Erklärung, die im Folgenden gegeben werden soll.

Die Aenderungen, welche die Zahlen von $\{124\}$ und $\{122\}$ erfahren haben, sind eine Folge einer späteren beträchtlichen Vermehrung der Beobachtungen. Für $\{904\}$ war ursprünglich aus Versehen der reciproke Werth 0,907 des beobachteten Axenverhältnisses 1,102 angegeben. Für die Flächen der Zone $\{000\}$, also der Formen $\{001\}$, $\{023\}$ und $\{010\}$ haben nachträgliche neue Beobachtungen zu einer grösseren Reduction der anfänglich beobachteten Zahlen geführt. Es ist eine Eigenthümlichkeit der Flächen dieser Zone, wodurch sie sich wesentlich von den übrigen unterscheiden, daß die Verwitterungsfiguren sich in der Richtung ihrer grossen Axe häufig langgestreckt, ohne die an der anderen Axe beobachtete scharfe Begrenzung ausbil-

den. Der Grund liegt, wie schon früher bemerkt ist, wahrscheinlich in unregelmäßigem, zu raschem Ansteigen der Temperatur bei der Verwitterung. Bei den zuerst untersuchten Krystallen waren die Flächen der Zone [000] in nur geringer Ausdehnung vertreten, und nur wenige Flecke hatten sich auf den Flächen gebildet, so daß durch Vergleich mit anderen ihre Unbrauchbarkeit nicht erkannt werden konnte. Erst nach dem Drucke der vorhin erwähnten Mittheilung, als auf größeren Flächen neuer Krystalle eine große Zahl von Flecken zur Auswahl gegeben war, konnte die Abweichung in der Form beobachtet werden. Es sind darauf an mehreren mit größter Vorsicht verwitterten Krystallen Flecke von allseitig gleichmäßig und scharf begränzter Form ausgewählt und gemessen. Die erhaltenen Resultate sind in der Folge den Berechnungen zu Grunde gelegt. Es hat sich gezeigt, daß die Uebereinstimmung zwischen Beobachtung und Rechnung durch Einführung dieser Werthe befriedigender geworden ist, als sie es vorher war.

10. Die erhaltenen Mittelwerthe der auf den verschiedenen Flächen beobachteten Axenverhältnisse sollen nun dazu benutzt werden, die Natur der Verwitterungsoberfläche zu bestimmen. Es ist bereits bekannt, daß sie eine geschlossene ist und daß ihre Axen mit dem eingeführten rechtwinkligen krystallographischen Axensysteme zusammenfallen. Die dem Augenscheine nach genau elliptische Form ihrer Schnitte mit den Krystallflächen, d. h. der Verwitterungsfiguren, die Möglichkeit eines Kreisschnittes in der Zone [000] und die Analogie der ganzen Erscheinung mit anderen physikalischen Eigenschaften der Krystalle lassen die Annahme, daß die gesuchte Oberfläche ein Ellipsoïd sey, am einfachsten erscheinen. Wenn diese Annahme begründet ist, so müssen die beobachteten Axenverhältnisse der Flecke auf den verschiedenen Flächen den Schnitten der letzteren mit dem Ellipsoïde entsprechen.

Bezeichnen wir die Axen der Oberfläche, entsprechend den Krystallaxen, mit a , b und c , so giebt die Beobach-

tung auf $[010]$ das Verhältniß $a:c$, die Beobachtung auf $[001]$ das Verhältniß $a:b$. Damit sind die drei Axen bekannt, wenn $c=1$ gesetzt wird: Durch die Beobachtung auf $[010]$ ist a direct gemessen, mit Hülfe dieses Werthes muß b aus der Beobachtung auf $[001]$ berechnet werden. Bei der geringen GröÙe des Axenverhältnisses auf $[001]$ ist die Bestimmung von b aus den früher angeführten Gründen nicht so genau, wie die von a . Ich ziehe deshalb für die Ermittlung des Werthes von b die Berechnung desselben mit Hülfe von a aus der Beobachtung auf $[904]$ vor. Die beiden Flächen von $[904]$ sind der Axenebene bc fast parallel, sie geben also den Werth von b , bis auf eine sehr kleine Correction, direct. Die Betrachtung des Ausdrucks für b zeigt, daß diese Correction von ziemlich beträchtlichen Schwankungen im Werthe von a unabhängig ist, so daß der so berechnete Werth von b einer directen Beobachtung gleich zu achten ist. Es können also jedenfalls die Werthe von a , b und c als durch directe Beobachtung gegeben angesehen werden.

Um zu prüfen, ob die Annahme eines Ellipsoides zulässig sey, ist in folgender Weise verfahren. Es sind nach Einführung dieser Annahme aus den Beobachtungen auf den Flächen der Zonen $[u00]$ und $[000]$ die Axen des Ellipsoides berechnet und mit den direct beobachteten Werthen $a:b:c=1,601:1,407:1$ verglichen. Ferner sind aus diesen Werthen umgekehrt, um den Schwierigkeiten auszuweichen, welche hier sonst die vorher benutzten Formeln geboten haben würden, unter derselben Annahme die Axenverhältnisse auf den Flächen von $[111]$, $[124]$ und $[122]$ berechnet und mit den direct beobachteten Axenverhältnissen verglichen. Eine Uebereinstimmung in beiden Fällen zwischen Beobachtung und Rechnung würde den Beweis für die Existenz des Ellipsoides liefern. Die weiter unten mitgetheilten Resultate der Rechnung zeigen, daß diese Uebereinstimmung in der That stattfindet.

Wenn mit α , β , γ die Neigungswinkel der Normale einer Schnittebene (hier der Krystallfläche) mit den Axen a , b , c , bezeichnet werden, so sind die Quadrate der Axen

der Schnittellipse durch die Wurzeln ϱ_1^2 und ϱ_2^2 der quadratischen Gleichung

$$\frac{\cos^2 \alpha}{\frac{1}{a^2} - \varrho^2} + \frac{\cos^2 \beta}{\frac{1}{b^2} - \varrho^2} + \frac{\cos^2 \gamma}{\frac{1}{c^2} - \varrho^2} = 0 \quad . \quad (1)$$

bestimmt. Für die Flächen der Zone $[ooo]$ ist $\beta = 90^\circ$ und die Gleichung reducirt sich auf

$$\left(\frac{\cos^2 \alpha}{c^2} + \frac{\cos^2 \gamma}{a^2} - \varrho^2 \right) \left(\frac{1}{b^2} - \varrho^2 \right) = 0 \quad . \quad (2).$$

Die Quadrate der beiden Schnittaxen sind also in diesem Falle

$$\varrho_1^2 = \frac{\cos^2 \alpha}{c^2} + \frac{\cos^2 \gamma}{a^2}$$

und

$$\varrho_2^2 = \frac{1}{b^2}.$$

Beobachtet ist das Verhältniß

$$\frac{\varrho_1^2}{\varrho_2^2} = k^2,$$

also die Gleichung, auf die es ankommt, ist:

$$k^2 = b^2 \left(\frac{\cos^2 \alpha}{c^2} + \frac{\cos^2 \gamma}{a^2} \right) \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Für die Zone $[uoo]$ findet sich die entsprechende Gleichung, da hier $\alpha = 90^\circ$ ist:

$$k_1^2 = a^2 \left(\frac{\cos^2 \beta}{c^2} + \frac{\cos^2 \gamma}{b^2} \right) \quad . \quad . \quad . \quad (4).$$

Da $c = 1$ angenommen ist, so lassen sich a und b mit Hülfe dieser beiden Gleichungen durch die beobachteten Größen k und k_1 und durch die bekannten Winkel α , β , γ ausdrücken.

Für die Octaëderflächen wird keiner der drei Winkel 90° , es müßte also die Gleichung (1) direct angewandt werden. Es sind aber in diesen Fällen die direct beobachteten Werthe von a , b und c in (1) eingesetzt, daraus dann das Verhältniß von ϱ_1 zu ϱ_2 , also das Axenverhältniß der Flecke auf der fraglichen Fläche berechnet und mit dem beobachteten Werthe verglichen.

Die angedeuteten Rechnungen sind für die Flächen des

Eisenvitrioles zum größeren Theile durchgeführt. Eine Combination der Flächen (023) und (010), da letztere a direct giebt, würde die Bestimmung von b theoretisch zulassen, aber da (023) sehr scharf gegen c geneigt ist, so würde ein Beobachtungsfehler bei der Bestimmung des Axenverhältnisses auf (023) einen verhältnißmäßig großen Einfluß auf den Werth von b üben. Es sind aus diesem Grunde immer nur Flächen verschiedener Zonen combinirt, weil diese allein Aussicht auf zuverlässige Resultate gewähren.

Die zu den Rechnungen benutzten Zahlen sind in der folgenden Tabelle enthalten.

Krystall- form	Beobachtetes Axenverhältniß	Die Winkel der Flächennormale mit den Krystall- oder Ober- flächenaxen.		
		α	β	γ
111	1,433	41° 50'	50° 45'	77° 49'
124	1,429	63 44	41 18	69 41
122	1,509	60 43	33 53	74 29
023	1,480	90 0	25 58	64 2
101	1,344	15 37	90 0	74 23
104	1,102	47 53	90 0	42 7
102	1,271	28 40	90 0	61 20
904	1,400	6 58	90 0	83 2
010	1,601	90 0	0 0	90 0
001	1,158	90 0	90 0	0 0

Es hat sich durch die Rechnung ergeben bei der Combination der Beobachtungen auf:

010 und 111	: $b = 1,365$
010 „ 124	: $b = 1,315$
010 „ 122	: $b = 1,421$
010 „ 001	: $b = 1,381$
102 „ 010	: $b = 1,371$
101 „ 010	: $b = 1,375$
904 „ 010	: $b = 1,407$
104 „ 010	: $b = 1,352$
904 „ 001	: $a = 1,630$

001 und 023	: $a = 1,547$
102 » 023	: $a = 1,551, b = 1,366$
101 » 023	: $a = 1,553, b = 1,375$
904 » 023	: $a = 1,556$

Mit dem auf |010| beobachteten Werthe $a = 1,601$ und dem aus der Combination der Beobachtungen auf |010| und |904| berechneten Werthe 1,407, der, wie schon bemerkt, dem direct beobachteten Werthe gleich zu achten ist, sind unter der Annahme, dafs a , b und c die Axen eines Ellipsoides seyen, die Axenverhältnisse auf den drei Octaëdern berechnet. Das Resultat ist folgendes:

Krystallform	Beobachtet	Berechnet
111	1,433	1,462
124	1,429	1,446
122	1,509	1,514

In diesem letzteren Falle genügt die Uebereinstimmung zwischen Beobachtung und Rechnung allen Anforderungen. Etwas geringer ist sie im ersteren Falle. Berücksichtigt man aber, dafs nicht alle Flächen für die Bestimmung der Axen gleich günstig liegen, wie diess bereits angedeutet ist, so fällt die Bedeutung der kleinen Abweichungen fort. Eine gröfsere Abweichung findet sich übrigens auch nur in dem Falle, wo b aus den Beobachtungen auf |010| und |124| berechnet ist. Bei den übrigen Zahlen liegen die Abweichungen innerhalb der Fehlergränze, wovon eine nähere Betrachtung der angegebenen Beobachtungen leicht überzeugt.

Es geht also aus den Beobachtungen hervor, dafs für den Eisenvitriol ein Ellipsoid mit den Axen $a:b:c = 1,601:1,407:1$ existirt, dessen Axen mit den Krystallaxen zusammenfallen, dessen Oberfläche die verwitterte Masse begränzt und als dessen Schnitte mit den Krystallflächen die beobachteten Verwitterungsfiguren anzusehen sind.

Um noch eine weitere Bestätigung dieses Resultates zu gewinnen, kann man untersuchen, ob der Kreisschnitt dieses Ellipsoides wirklich an der Stelle liegt, an welcher er nach der Beobachtung der Verwitterungsflecke liegen mufs.

Es kann in diesem Falle nur von einer Uebereinstimmung der Beobachtung und der Rechnung innerhalb gewisser Gränzen die Rede seyn, da die Kreisschnittfläche als Krystallfläche am Eisenvitriole nicht auftritt. Nach der Beobachtung der Axenverhältnisse auf den Flächen der Zone $[000]$ und der Art, wie von der Fläche (104) die große Axe der Ellipse aus ihrer der Zonenaxe parallelen Lage auf (001) in die dazu senkrechte Richtung übergeht, muß man schließen, daß die Kreisschnittfläche die Kante zwischen (001) und (104) abstumpfen muß. Sie muß mit (001) einen größeren Winkel bilden als den von $137^{\circ} 53'$, unter welchem (104) gegen (001) geneigt ist.

Wenn ϑ der Winkel ist, welchen die der Axe b parallele Kreisschnittfläche mit der Axe a bildet, so ist derselbe als Function der Axen bestimmt durch die Gleichung:

$$\sin^2 \vartheta = \frac{a^2 - b^2}{b^2(a^2 - c^2)}.$$

Es ergibt sich nach Einsetzung der beobachteten Axenwerthe

$$\vartheta = 25^{\circ} 47'$$

und die Neigung der Kreisschnittebene gegen (001) zu $154^{\circ} 13'$, also in der That in einer solchen Lage, daß sie die Kante zwischen (001) und (104) abstumpft.

Es ist noch interessant, zu untersuchen, ob die hier berechnete Kreisschnittebene als Krystallfläche möglich ist, ob sich also für sie ganze Zahlen als Indices bestimmen lassen. Für $C=1$ ergibt sich $A=2,070$. Für die Grundform $|111|$ ist $A=0,2795$. Wir finden, daß $7 \cdot 0,2795 = 1,9565$. Die Abweichung dieser Zahl von 2,070, nämlich 0,113, ist so gering, daß man mit einiger Wahrscheinlichkeit annehmen kann, die Kreisschnittebenen entsprechen in Wirklichkeit den Flächen einer Form $|107|$ und können als solche auftreten, wenn sie auch bis jetzt noch nicht beobachtet sind.

Zinkvitriol, $\text{ZnSO}_4 + 7\text{H}_2\text{O}$; 2- und 2gliedrig.

11. Nächst dem Eisenvitriole zeigt der Zinkvitriol die Verwitterungsflecke am reinsten, vorausgesetzt, daß die

Verwitterung ihren regelmässigen Verlauf genommen hat, und die Verwitterungstemperatur nicht überschritten ist. Er verwittert bei derselben Temperatur wie der Eisenvitriol, etwa 33° C. aber bedeutend schneller, denn während beim ersteren eine halbe bis zu einer ganzen Stunde nöthig ist, um meßbare Flecke zu erzeugen, wird bei diesem dasselbe bereits nach 10 Minuten bis zu einer Viertelstunde erreicht. Ich habe es beim Zinkvitriol immer am zweckmässigsten gefunden, ihn erst dann in das Luftbad zu bringen, wenn dasselbe die erforderliche Verwitterungstemperatur constant zeigt, und ihn die genannte Zeit darin zu lassen. Im Fall die Flecke überhaupt entstehen, erscheinen sie äusserst scharf begrenzt von sehr regelmässiger elliptischer Form; sie sind sehr genau zu messen, wenn man dafür sorgt, daß der Krystall nur von oben beleuchtet wird, der Fleck also weifs auf dunklem Grunde erscheint.

Nicht immer gelingt es, wie dies schon früher hervor-
gehoben ist, die Flecke in der gewünschten Weise hervor-
zubringen, es erscheinen sehr häufig nur matte Verwitterungs-
striche auf den Flächen, unter einander und einer der
Axen der Flecke genau parallel. Es scheint, als ob das
Entstehen dieser Striche nicht allein in Folge einer Unre-
gelmässigkeit im Ansteigen der Temperatur begründet sey,
sondern auch mit von der äusseren Beschaffenheit der Kry-
stalle abhängt. Wenigstens hat sich gezeigt, daß sie na-
mentlich leicht an weniger sorgfältig abgetrockneten Kry-
stallen oder solchen hervortreten, die aus schwach saurer
Lösung krystallisirt sind. Krystalle dagegen, die durch all-
mähliches Verdunsten in einer neutralen Lösung sich ge-
bildet haben und nach sorgfältigem Abtrocknen vollkom-
men spiegelnde Flächen besitzen, haben nur in den sel-
tensten Fällen die genannten Striche gezeigt; es sind des-
halb nur solche Krystalle für die Versuche verwendet.

Der Zinkvitriol gehört dem 2- und 2gliedrigen Sy-
steme an. Die Axen des Grundoctaëders sind:

$$A : B : C = 0,9804 : 1 : 0,5631.$$

Die Zahl der gewöhnlich auftretenden Flächen ist eine weit

geringere, wie sie beim Eisenvitriole beobachtet ist, indessen ist sie immer noch hinlänglich groß, um auch hier die Verwitterungsoberfläche nach Lage und Größe ihrer Axen zu bestimmen. Die Formen, die an den von mir benutzten Krystallen vorhanden waren und auf deren Flächen die Verwitterungsfiguren gemessen sind, sind folgende:

- 1) $\{111\}$
- 2) $\{110\}$
- 3) $\{010\}$
- 4) $\{101\}$
- 5) $\{011\}$

Fig. 3 Taf. III giebt eine Ansicht eines vollkommenen Krystalles mit diesen Flächen; Fig. 4 deutet die Richtung der Axen an.

Auf allen diesen Flächen treten die Verwitterungsfiguren gleich deutlich und scharf begränzt auf, aber es scheint die Verwitterung nicht auf allen Flächen gleich leicht oder doch nicht bei derselben Temperatur vor sich zu gehen; wenigstens hat sich gezeigt, daß die Octaëder- und Domaflächen gewöhnlich noch nicht verwittert waren, wenn auf den Säulenflächen die Flecke bereits vollkommen ausgebildet und für die Messung brauchbar waren. Es scheint dieß im Zusammenhang mit der für verschiedene Flächen verschiedenen Härte zu stehen. Auf die Verwitterungserscheinungen selbst ist es ohne Einfluß.

Es hat sich ergeben, daß ebenso wie beim Eisenvitriol das Axenverhältniß der Flecke auf derselben Fläche ein constantes ist, und daß die Axen auf den Flächen der Hauptzonen nach krystallographisch bevorzugten Richtungen gelegen sind. Die Kreuze auf Fig. 3 deuten die Lage der großen und kleinen Axe der Flecke an. Diese Lage ist auf den verschiedenen Flächen eine solche, und ihr Axenverhältniß ändert sich von einer Form zur anderen so, daß daraus auch hier die Existenz einer Verwitterungsoberfläche folgt. Die Richtung der Flecke, der Parallelismus einer ihrer Axen mit gewissen Krystallaxen und die Constanz des Axenverhältnisses auf allen Flächen derselben Form

liefert dann auch hier den Beweis, daß die Axen der Oberfläche mit den Krystallaxen zusammenfallen.

Die folgenden Tabellen enthalten die auf den verschiedenen Formen und Flächen beobachteten Axenverhältnisse der Verwitterungsfiguren:

I. Säule $\{110\}$.

Die große Axe ist parallel den Säulenkanten, also der kleinsten krystallographischen und Hauptaxe.

1. Säulenfläche (110) 2. Fläche $(0\bar{1}0)$

III.	XVII.	III.	XVII.
1,310	1,333	1,335	1,304
1,339	1,314		1,326
	1,329	1,335	1,315
	1,312		
	1,294		
1,325	1,316		

3. Eine einzelne nicht näher bestimmbare Fläche.

I.	II.	XVI.
1,361	1,317	1,305
1,307	1,347	1,331
1,348		
1,325		
1,327		
1,336	1,332	1,318

Das Mittel aus sämtlichen 19 Beobachtungen ist = 1,323.

II. Flächenpaar $\{010\}$.

Die große Axe ist wie bei $\{110\}$ parallel den Säulenkanten und der Krystallhauptaxe.

I.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.
1,247	1,215	1,240	1,263	1,247	1,231
1,223			1,239	1,218	
			1,252	1,223	
			1,273	1,247	
				1,249	
				1,237	
1,235	1,215	1,240	1,257	1,237	1,231

Das Mittel aus sämtlichen 15 Beobachtungen ist = 1,240.

III. Octaëder $|111|$.

Wird durch den Mittelpunkt des Fleckes die Flächennormale und durch diese und die Hauptaxe C eine Ebene gelegt, so läßt sich die Lage der Flecken hier näher so bezeichnen: Es tritt das obere Ende der großen Axe auf (111) und $(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$ nach rechts, auf $(\bar{1}11)$ und $(1\bar{1}\bar{1})$ nach links aus dieser Ebene heraus.

1. Fläche $(\bar{1}11)$; 2. Fläche (111) ; 3. Fläche $(1\bar{1}\bar{1})$;

IX.	XIII.	XIV.	IX.	XIII.	XIV.
1,156	1,139	1,139	1,145	1,146	1,136
		1,122			
		1,136			
<hr/> 1,156	<hr/> 1,139	<hr/> 1,132	<hr/> 1,145	<hr/> 1,146	<hr/> 1,136

4. Eine nicht näher bestimmte Fläche.

X.	XI.	XII.	XV.
1,170	1,140	1,148	1,136
			1,111
			1,118
<hr/> 1,170	<hr/> 1,140	<hr/> 1,148	<hr/> 1,122

Das Mittel aus den 14 Beobachtungen ist = 1,139.

IV. Doma $|101|$.

Große Axe parallel der Octaëderkante, deren Abstumpfung die betreffende Domenfläche ist. Die Domenflächen treten selten in größerer Ausdehnung auf, es haben deshalb nur an einem Krystalle an einer größeren Fläche drei Flecke gemessen werden können, die aber äußerst scharf ausgebildet waren.

VIII.

1,211
1,197
1,199
<hr/> 1,202

V. Doma $|011|$.

Diese Form, die gerade Abstumpfung der scharfen Octaëderendkanten, tritt noch seltener als die vorhergehende auf und es ist mir nur ein einziges Mal geglückt, sie über-

haupt an einem Krystalle zu beobachten. Auf einer dieser Flächen fand sich nur ein Fleck, aber ein sehr scharf ausgebildeter. Seine große Axe lag senkrecht zu der Octaëder-Kante, durch deren gerade Abstumpfung diese Domenfläche gebildet ist. Beobachtet wurde das Verhältniß der kleinen zur großen Axe.

XVII.
0,9408.

12. Nach den vorliegenden Beobachtungen erscheinen auch hier beim Zinkvitriol die Flecke als die Schnitte einer bestimmten geschlossenen Verwitterungsoberfläche. Aus dem Parallelismus der großen Axe der Flecke auf den Säulenflächen $|110|$ und $|010|$ folgt, daß eine der Oberflächenaxen mit der Krystallaxe C zusammenfällt. Der Parallelismus der großen Axe auf $|101|$ und der kleinen auf $|011|$ mit den entsprechenden Octaëderkanten, sowie die Constanz des Axenverhältnisses auf allen Octaëderflächen zeigt ferner, daß auch die beiden übrigen rechtwinkligen Axen der Oberfläche mit den beiden übrigen rechtwinkligen Krystallaxen zusammenfallen.

Die dem Augenscheine nach genau elliptische Form aller verschiedenen Flecke führt auch hier dazu, für die Oberfläche ein Ellipsoid anzunehmen. Um die Frage zu entscheiden sind hier in derselben Weise, wie beim Eisenvitriole nach Einführung der Gleichung eines Ellipsoides die Axen desselben aus den Beobachtungen auf den Flächen der Formen $|110|$, $|010|$, $|101|$ und $|011|$ bestimmt. Mit den so ermittelten Werthen ist dann das Axenverhältniß auf $|111|$ berechnet und mit der Beobachtung verglichen.

In der folgenden Tabelle sind die zu dieser Rechnung nöthigen Größen zusammengestellt: Die Mittelwerthe der auf den verschiedenen Flächen beobachteten Axenverhältnisse und die Winkel α , β , γ , welche von den Flächennormalen und den Krystallaxen A , B , C eingeschlossen werden.

Krystall- form	Beobachtetes Axenverhältniß	Winkel der Flächennormale mit den Krystall- oder Oberflächenaxen.		
		α	β	γ
[111]	1,139	63° 24'	63° 58'	38° 49'
[110]	1,323	44 28	45 32	90 0
[010]	1,240	90 0	0 0	90 0
[101]	1,202	60 8	90 0	29 52
[011]	0,941	90 0	60 37	29 23

Die Beobachtung auf [010] giebt direct das Verhältniß von $c:a$. Es soll $a=1$ angenommen werden, dann ist also $c=1,240$. Mit diesen Werthen berechnet sich die Axe b aus den Beobachtungen auf:

$$[110] \text{ zu } b = 0,8918$$

$$[101] \text{ „ } b = 0,8708$$

$$[011] \text{ „ } b = 0,8878$$

Die Uebereinstimmung dieser drei Werthe muß als vollkommen genügend bezeichnet werden, um darin einen Beweis zu sehen, daß auch beim Zinkvitriol ein *Ellipsoid* die Verwitterungsoberfläche ist. Es ist zwar auf [011] nur eine einzige Ellipse gemessen worden, sie war indessen vollkommen tadellos in der Form, hinreichend groß und sehr scharf begrenzt, so daß ich die Beobachtung vollkommen brauchbar zur Bestimmung von b halte. Nehmen wir für b das Mittel aus den drei obigen Zahlen $= 0,8835$ als wahrscheinlich richtigsten Werth an, so sind die drei Axen des Verwitterungsellipsoides hier

$$a:b:c = 1:0,8835:1,240,$$

oder wenn wir $b=1$ setzen,

$$a:b:c = 1,132:1:1,404.$$

Diese drei Axen fallen der Reihe nach zusammen mit den Krystallaxen:

$$A:B:C = 0,9804:1:0,5631.$$

Mit den so bestimmten Werthen von a , b und c ist sodann das Axenverhältniß auf den Octaëderflächen berechnet. Es hat sich zu 1,060 ergeben statt des beobachteten Werthes 1,139.

Die Uebereinstimmung zwischen Rechnung und Beob-

achtung ist in diesem Falle geringer als in den entsprechenden Fällen beim Eisenvitriole. Sie erscheint indess noch hinreichend groß, um auch in der berechneten Zahl 1,060 einen weiteren Beweis für die Zulässigkeit des vorhin bestimmten Ellipsoides zu sehen.

13. Die über die Ursache der Erscheinung im Anfange dieser Abhandlung ausgesprochene Ansicht findet insofern ihre Bestätigung, als sowohl beim Eisenvitriole wie beim Zinkvitriole immer die kleinere Verwitterungsaxe mit der größeren Krystallaxe zusammenfällt. Ein allgemeines Gesetz über den Größenzusammenhang zwischen den beiderlei Axen läßt sich nach den vorliegenden Beobachtungen noch nicht übersehen, ein sehr einfaches wird es aber kaum seyn. Es läßt sich nur vermuthen, wie das oben schon ausgesprochen ist, daß die Verwitterungsaxen in den Fällen sich umgekehrt wie die Krystallaxen verhalten werden, in welchen die verwitterte Masse völlig wasserfrei ist, was weder beim Eisenvitriol noch Zinkvitriol der Fall ist. Weitere Versuche mit solchen Salzen, die bei der gewöhnlichen Verwitterungstemperatur völlig wasserfrei werden, wie z. B. das Glaubersalz, werden über diesen wichtigen Punkt die nöthige Aufklärung geben.

14. Aus den Gründen, die bereits in der Einleitung angegeben sind, muß man bei allen den Krystallen ein Verwitterungs-Ellipsoid erwarten, deren rechtwinklige Krystallaxen verschieden groß sind. Sind die Axen einander gleich, ist der Krystall also regulär, so muß die Verwitterungsoberfläche eine *Kugel* seyn. Die Beobachtung am Chromalaun hat dies bestätigt. Sind zwei der Axen gleich, oder ist allgemein — um auch das 6gliedrige System in der gebräuchlichen Stellung in diese Betrachtung aufnehmen zu können — der Krystall um eine der Axen symmetrisch ausgebildet, so hat man ein um diese Axe gebildetes *Rotationsellipsoid* zu erwarten. Die Beobachtung der Verwitterungsfiguren am 4gliedrigen Blutlaugensalze hat auch hier die Ansicht bestätigt. Es sind bei diesem Salze auf der Endfläche genaue Kreise beobachtet, auf den Octaëder-

flächen dagegen Ellipsen. Wenn die Beschaffenheit dieses Salzes es nun auch nicht gestattet hat, die Flecke unter dem Mikroskope zu messen und die Beobachtung auf die Betrachtung mit bloßem Auge beschränkt bleiben mußte, so ist trotzdem die Uebereinstimmung mit der Ansicht klar hervorgetreten. Das bloße Auge erkennt mit großer Schärfe die dem genauesten Meßapparate Nichts nachgiebt, ob eine Figur ein Kreis ist oder ob sie davon abweicht; und darauf kam es hier allein an. Es konnte trotz der geringen Schärfe der Flecke die Kreisform sicher erkannt werden. Die Ellipsen auf den Octaëderflächen hatten die der Ansicht entsprechende Lage: es war die eine Axe den Grundkanten des Octaëders parallel und nach ihrer Größe lagen die beiden Axen so, wie es das Größenverhältniß der Krystallaxen erforderte: Die kleinere Axe liegt mit der Flächennormale und der größeren Krystallaxe, der Hauptaxe, in einer Ebene.

Unterschwefelsaures Bleioxyd, $\text{PbS}_2\text{O}_6 + 2\text{H}_2\text{O}$, 6gliedrig.

Aus denselben Gründen wie beim 4gliedrigen Systeme sollte man nun auch beim 6gliedrigen Systeme als Verwitterungs Oberfläche ein Rotationsellipsoid erwarten, dessen Rotationsaxe mit der Hauptkrystallaxe zusammenfielen, um die die Krystalle dieses Systemes symmetrisch gebildet sind. Es müßten bei Salzen dieses Systemes auf der Endfläche senkrecht zur Hauptaxe, Kreise, auf allen übrigen Flächen dagegen Ellipsen beobachtet werden. Die Ellipsen müßten als solche um so kenntlicher hervortreten, ihr Axenverhältniß müßte um so größer seyn, je größer das Verhältniß der krystallographischen Axen wäre.

Für diese Untersuchung brauchbare Krystalle des 6gliedrigen Systemes sind selten. Es ist mir nicht möglich gewesen, säulenförmige Salze ausfindig zu machen, ich habe die Untersuchung deshalb auf rhomboëdrische Formen beschränken müssen. Es liefs sich indeß voraussehen, daß bei einem möglichst großen Werthe des krystallographischen Axenverhältnisses das Verhalten dieser Salze in Be-

ziehung auf die Verwitterung genügend würde festgestellt werden können. Es scheinen sich die 6gliedrigen unterschweifelsauren Salze von Bleioxyd, Kalk und Strontian ganz besonders für diese Untersuchung zu eignen. Durch die Güte der HH. Obermedicinalrath Wöhler und Prof. Wicke in Göttingen und Dr. Kraut in Hannover ist mir eine so reichliche Menge dieser Salze zur Benützung überlassen, daß mit Leichtigkeit gute Krystalle dargestellt werden konnten.

Von diesen Salzen ist zunächst das Bleisalz untersucht, weil es namentlich leicht in großen, äußerst scharf ausgebildeten Krystallen erhalten werden kann. Außerdem eignet es sich von allen 6gliedrigen unterschweifelsauren Salzen ganz besonders zu dieser Untersuchung, weil es am Leichtesten verwittert. Es verwittert bei etwa 53° C. und giebt sehr scharf begränzte Verwitterungsfiguren, dagegen das Kalk- und Strontiansalz erst bei etwa 78° C. verwittern. Es krystallisirt rhomboëdrisch. Das Verhältniß seiner Krystallaxen ist, wenn C die Hauptaxe bezeichnet,

$$A : C = 1 : 1,4696.$$

Die an den benutzten Krystallen vorhandenen Formen, auf denen die Verwitterungserscheinungen beobachtet werden konnten, waren das Hauptrhomboëder r , das erste stumpfere Rhomboëder r' und die Endfläche e . Fig. 5 Taf. III zeigt den vollständigen Krystall.

Wie schon bemerkt ist, tritt bei diesem Salze die Erscheinung besonders deutlich auf, daß gewisse Flächen schwieriger als andere verwittern. Die Flächen des ersten stumpferen Rhomboëders sind bei vorsichtiger Erhöhung der Temperatur gerade bis zum Beginne der Verwitterung noch völlig unverletzt und spiegelnd, während die Flächen des Hauptrhomboëders und die Endfläche bereits mit vielen Verwitterungsfiguren bedeckt sind. Es geht so weit, daß die letzteren Flächen völlig verwittern können, und daß die ersteren erst dann von der gemeinschaftlichen Kante her angegriffen werden.

Nach dem Obigen waren auf der Endfläche genaue Kreise, auf den Rhomboëderflächen dagegen Ellipsen zu erwarten. Die Ellipsen mußten bei dem angegebenen Werthe des krystallographischen Axenverhältnisses ziemlich langgestreckt erscheinen, am längsten auf den Flächen des schärferen Hauptrhomböders.

Die Beobachtung hat nun auf der Endfläche allerdings Kreise ergeben, aber auf den Rhomboëderflächen nicht Ellipsen, sondern auffallender Weise und gegen alle Erwartung gleichfalls genaue Kreise. Die Kreise waren auf allen Flächen äußerst scharf begrenzt. Wie schon an einer andern Stelle ausgesprochen ist, läßt sich durch die Beobachtung mit bloßem Auge äußerst genau entscheiden, ob eine Figur ein Kreis ist oder nicht, wenn es sich nur um diese beiden Gegensätze handelt. In dem vorliegenden Falle habe ich mich aber nicht auf diese Art der Beobachtung beschränkt, es schien mir zu wichtig, die Zuverlässigkeit der Beobachtung durch weitere Zahlenangaben zu unterstützen. Ich habe deshalb das Verhältniß zweier, nach zwei beliebig gewählten senkrechten Richtungen gelegenen Durchmesser der Flecke an verschiedenen Krystallen gemessen. Als eine der Richtungen wurde gewöhnlich eine einer Kante der beobachteten Fläche parallele Linie gewählt. Die Resultate dieser Beobachtungen sind in der folgenden Tabelle enthalten:

I. Endfläche.			II. Hauptrhomböder.	
I.	III.	V.	III.	IV.
1,033	1,003	0,998	1,012	1,006
0,990		0,980	1,053	0,985
0,990		1,014	0,991	
		0,997	0,991	0,996
<hr/> 1,001	<hr/> 1,003	<hr/> 0,997	Mittel aus den	
Mittel aus den 8 Beob-			5 Beobachtungen	
achtungen = 1,001.			= 1,009	

III. Erstes stumpferes Rhomboöder.

I. II.

0,947 1,058

1,000 1,026

1,006 0,995

1,024 0,993

0,998

0,993

0,995 1,018

Mittel aus den 10 Beobachtungen = 1,004.

Hiernach wird an der vollen Richtigkeit der auffallenden Beobachtung nicht mehr gezweifelt werden können. Eine weitere Bestätigung erhält sie dadurch, daß der *unterschwefelsaure Kalk*, $\text{CaS}_2\text{O}_8 + 4\text{H}_2\text{O}$, sich genau ebenso verhält, wie das Bleisalz. Das Verhältniß der Krystallaxen ist bei demselben:

$$A : C = 1 : 1,5024.$$

Es treten neben der Endfläche noch Rhomboöderflächen auf, die nicht näher bestimmt sind. Das Salz verwittert erst bei 78°C. , zeigt dann aber sehr scharf begränzte Verwitterungsfiguren, die sich auf allen Flächen als genaue Kreise erweisen. Messungen, wie beim Bleisalze, habe ich hier nicht ausgeführt, ich habe mich auf die sorgfältige Prüfung einer großen Zahl von Figuren unter dem Mikroskope ohne Anwendung des Mefsapparates beschränkt. Aber in keinem Falle sind Formen bemerkt, die auf ein Verwitterungs-Ellipsoid hätten hindeuten können. Die Axen *A* und *C* sind auch hier sehr von einander verschieden, so daß sehr langgezogene Ellipsen hätten erscheinen müssen, wenn sie überhaupt gebildet würden.

In derselben Weise verhalten sich der unterschwefelsaure Strontian und das Doppelsalz aus diesem letzteren und dem Bleisalze. Beide Verbindungen zeigen neben verschiedenen Rhomboöderflächen die Endfläche. Sie ver-

wittern bei etwa 78° C. und bez. 53° und zeigen auf sämtlichen Flächen äußerst scharf ausgebildete genaue Kreise.

Zur weiteren Untersuchung der Verwitterungserscheinungen an 6gliedrigen Krystallen hoffe ich noch an anderen Salzen beobachten zu können. Indefs glaube ich, die Beobachtungen an den genannten Salzen beweisen es bereits hinlänglich, *dass die 6gliedrigen Krystalle überhaupt sich in Beziehung auf die Verwitterung wie reguläre Krystalle verhalten, dass also bei ihnen die Verwitterungsoberfläche immer eine Kugel ist.*

15. Die hier festgestellte Thatsache kann bei weiterem Verfolg und wenn es gelingt, sie mit anderen Erscheinungen in Zusammenhang zu bringen, möglichen Falls von Bedeutung für die Krystallographie, wie überhaupt die Physik der Krystalle werden. Denn von Wichtigkeit muss es immer seyn, Krystalle aus zwei Systemen, die nach der gebräuchlichen Betrachtungsweise so durchaus von einander verschieden sind, wie das reguläre und das 6gliedrige, sich ganz gleich verhalten zu sehen in Beziehung auf eine physikalische Erscheinung, die Verwitterung, die nach Beobachtungen an Krystallen anderer Systeme im engsten Zusammenhang mit dem Krystallsysteme steht.

Um nur auf einen Fall aufmerksam zu machen, bemerke ich Folgendes. Es kommt vor, dass es durch die Winkelmessung allein nicht genügend festgestellt werden kann, ob ein Krystall zum 6gliedrigen oder zum 2- und 2gliedrigen Systeme gehört, weil die Abweichungen der Winkel von denen der genau 6gliedrigen Form nicht viel größer als die Beobachtungsfehler sind. So hat man lange Zeit den 2- und 1gliedrigen Eisenvitriol für rhomboëdrisch gehalten, obwohl die Abweichung der betreffenden Winkel nahezu 2° beträgt. Bei diesem Salze haben die verbesserten Hilfsmittel der Winkelmessung und die Beobachtung seiner übrigen physikalischen Eigenschaften für das 2- und 1gliedrige System entschieden. Bei der Verbindung von Chlornatrium und Traubenzucker ist man noch jetzt zweifelhaft ob sie 6gliedrig-rhomboëdrisch oder 2- und 2gliedrig kry-

stallisire¹⁾, die Differenz der betreffenden Winkel beträgt hier nur wenige Minuten. Es scheint als ob die übrigen physikalischen Eigenschaften dieser Substanz nicht klar genug hervortreten, um mit ihrer Hülfe die Frage zu entscheiden. Die Verbindung enthält Krystallwasser, würde sie nun verwittern, so könnte die Beobachtung der Verwitterungserscheinung die Frage sofort mit großer Sicherheit entscheiden. Das Verhältniß der krystallographischen Axen ist sehr beträchtlich und im Falle die Substanz 2- und 2gliedrig wäre, müßten sehr langgezogene Ellipsen auftreten, Kreise dagegen, wenn sie 6gliedrig wäre. Es scheint mir diese Frage so interessant, daß ich nicht unterlassen werde, den angedeuteten Versuch zu machen.

Abgesehen von diesem speciellen Falle geht aus dem Angeführten jedenfalls hervor, daß man in der Verwitterung ein Mittel besitzt, das unter gewissen Verhältnissen zweifelhafte Fälle mit einer Sicherheit entscheiden kann, wie kaum ein anderes.

Für den Augenblick wird es vielleicht noch zu früh seyn, das auffällige gleiche Verhalten der regulären und 6gliedrigen Krystalle mit größter Bestimmtheit aus einem einzigen Gesichtspunkte abzuleiten und zu erklären. Es würde sich als solcher am nächsten darbieten, beide Krystallsysteme als Abänderungen eines und desselben Systemes zu betrachten. Wenn ein solcher Schritt augenblicklich noch nicht mit Sicherheit geschehen kann, so wahrscheinlich er nach den vorliegenden Beobachtungen auch früher oder später nöthig seyn wird, so wird es doch von Interesse seyn, schon jetzt auf ein paar Punkte aufmerksam zu machen, die außerdem für eine solche Annahme zu sprechen scheinen.

Der Hauptpunkt, welcher dieser Ansicht günstig zu seyn scheint, ist der, daß die Formen des regulären und des 6gliedrigen Systemes sich wirklich aus einander ableiten lassen. Man kann die Formen des regulären Systemes als specielle Fälle einzelner oder von Combinationen mehrerer

1) Rammelsberg, Handbuch der krystallogr. Chemie S. 400.

Formen des 6 gliedrigen Systemes betrachten. So stellt sich der Würfel als ein Rhomboëder von 90° dar, das Octaëder als ein Rhomboëder mit der Endfläche, das Granatoëder als ein Rhomboëder mit dem zweiten Prisma usw. Man wird hiergegen einwenden, dafs bei der Axenstellung, wie sie bei der Verallgemeinerung nöthig wäre, die Flächenzeichen nicht so einfach werden und damit eine Grundeigenschaft der Krystalle unberücksichtigt bleibe. Es mag seyn, dafs die gewöhnlich gebrauchten vier Axen, von denen drei unter einander gleiche in einer Ebene liegen, oder die drei gleichen Axen, welche Miller ¹⁾ seinen Betrachtungen zu Grunde legt, einfachere Zeichen für die 6 gliedrigen Krystalle geben, und für krystallographische Zwecke wird gegen die Wahl solcher Axen aus Gründen der Zweckmäfsigkeit Nichts zu erinnern seyn. Aber ich glaube, dafs diefs in keiner Weise einen Grund abgeben würde, die Verschmelzung beider Systeme überhaupt aufzugeben.

Ferner spricht für einen im inneren Bau der Krystalle des regulären und des 6 gliedrigen Systemes begründeten innigen Zusammenhang das gleiche optische Verhalten einzelner Krystalle beider Systeme. Es zeigt sich in beiden Systemen die Circularpolarisation, die an Krystallen anderer Systeme nicht beobachtet ist.

16. Die in der vorstehenden Abhandlung mitgetheilten Resultate, sowohl die durch beigefügte Messungen der Verwitterungsfiguren erläuterten Beobachtungen, als die ohne solche nur in ihren Hauptpunkten dargestellten Erscheinungen der Verwitterung an anderen Krystallen, wie sie dem Auge ohne jede Messung erscheinen, lassen keinen weiten Zweifel an der Existenz einer für jeden Krystall bestimmten Verwitterungsoberfläche. Diese Oberfläche ist ein dreiaxiges Ellipsoid im allgemeinsten Falle und reducirt sich in speciellen Fällen auf ein Rotationsellipsoid oder eine Kugel. Weitere Messungen an den verschiedenen Krystallen werden in dieser Beziehung nichts Neues mehr liefern, als vielleicht die genaue Bestimmung der Axen des

1) Miller's Krystallographie von Grailich, S. 73.

jedesmaligen Ellipsoides. Eine solche Bestimmung kann an und für sich aber nur ein beschränkteres Interesse beanspruchen.

Wenn ich dessen ungeachtet die Absicht habe, die Zahl meiner Beobachtungen zu vermehren und weitere genaue Messungen an verschiedenen Krystallen auszuführen, so geschieht das in der Ueberzeugung, daß die hier beobachtete Erscheinung eine weit allgemeinere Bedeutung besitzt, als es auf den ersten Anblick scheinen mag, und daß ein größeres Beobachtungsmaterial für andere Fragen von Wichtigkeit werden kann, bei denen es sich um weitere Erforschung der Natur krystallisirter Körper handelt.

Es hat der Nachweis des neuen Axensystemes, das man vielleicht zweckmäßiger und einfacher als das *chemische Axensystem* bezeichnet, zwar auch an und für sich großes Interesse, weil es nächst dem krystallographischen Systeme das einzige ist, welches sich unmittelbar beobachten läßt. Aber weit wichtiger ist wohl der Umstand, daß es mit dem krystallographischen Systeme zusammenfällt, und daß ein directer Zusammenhang zwischen den Werthen der gleichgerichteten krystallographischen und chemischen Axen eines Krystalles besteht. Wenn der Größenzusammenhang nach den vorhandenen Beobachtungen auch noch nicht festgestellt werden kann, so ist doch nach der mitgetheilten Thatsache, daß regelmäsig die kleinere chemische Axe mit der größeren krystallographischen zusammenfällt, nicht daran zu zweifeln, daß er überhaupt besteht. Die genaue Feststellung dieses Zusammenhanges muß eine der Hauptaufgaben weiterer Beobachtungen auf diesem Gebiete seyn.

Die Beobachtung der Verwitterungserscheinungen kann vielleicht auf die Krystallographie selbst von Einfluß werden. Sie giebt einmal ein sehr brauchbares Mittel ab, um in zweifelhaften Fällen über die krystallographische Natur einer Substanz zu entscheiden, wenn die Beobachtung der Winkelverhältnisse hierzu nicht ausreicht. Dieser Punkt ist eingehender in §. 15 bereits besprochen. Es wird aber das Verwitterungsgesetz auch auf die krystallographische

Anordnung der krystallisirten Substanzen überhaupt, auf die Art des zu wählenden Axensystemes von Einfluß seyn. Man hat es vielfach vorgezogen, gewisse Krystallformen auf schiefwinklige Axen zu beziehen, wie die des 2- und 1gliedrigen und des 1- und 1gliedrigen Systemes. Geschieht dieß aus Gründen der Zweckmäßigkeit, allein in der Absicht, für die Flächenausdrücke einfachere Zahlen zu erhalten, so wird man sich vom krystallographischen Standpunkte aus damit einverstanden erklären. Glaubt man aber die Wahl solcher schiefwinkligen Systeme als in der Natur der krystallisirten Substanzen begründet erklären zu müssen, wie das in der That geschehen ist¹⁾, so lassen sich dagegen gewichtige Bedenken geltend machen. Es zeigt sich bei keiner physikalischen Erscheinung an Krystallen die Nothwendigkeit, dieselbe auf ein schiefwinkliges Axensystem zu beziehen, bei allen sieht man vielmehr, daß stets auf ein rechtwinkliges Axensystem hingewiesen ist. Die optischen Erscheinungen in Krystallen müssen auf ein rechtwinkliges Axensystem bezogen werden, ebenso die der Wärmeleitung und der Elektricitätsleitung. Wenn die verschiedenen physikalischen Axensysteme auch nicht immer mit den krystallographischen zusammenfallen, so steht doch fest, daß die Vorgänge im Inneren der Krystalle sich stets auf rechtwinklige Axen beziehen und es wird dadurch wahrscheinlich, daß auch für die äußere Form des Krystalles, für die man doch sonst einen Zusammenhang mit dem inneren Bau annimmt, ein rechtwinkliges System das naturgemäße sey. Dafür spricht ferner, daß durch ein rechtwinkliges System die Symmetrie überall vollkommen ermöglicht wird. Berücksichtigt man nun aber die Verwitterungserscheinungen und den Umstand, daß das chemische Axensystem stets auch die Krystalle symmetrisch theilt, daß die Verwitterung nothwendig mit dem inneren Bau der Krystalle im engsten Zusammenhang stehen muß, so wird man nicht umhin können dieß rechtwinklige Axensystem

1) Naumann, Elemente der theoret. Krystallogr. 1856., S. 313, Anm. b.

auch als das allein naturgemäße für die krystallographische Betrachtung der Krystalle bezeichnen zu müssen.

Der directe einfache Zusammenhang zwischen dem Krystallssysteme und der Art, wie hier die Abscheidung des chemisch gebundenen Wassers erfolgt, macht es wahrscheinlich, daß die hier beobachtete Gesetzmäßigkeit sich nicht auf die Verwitterungserscheinungen allein beschränkt. Sie wird sich wahrscheinlich in ähnlicher Weise überall da wiederfinden, wo von einer krystallisirten chemischen Verbindung ein Bestandtheil durch irgend welche gleichmäßig und constant wirkende Ursache getrennt wird. So wird z. B. der Fortgang der Kohlensäure aus kohlensauren Salzen, oder von Ammoniak aus krystallisirten Ammoniakverbindungen auf den Krystallflächen ähnliche vom Krystallssysteme bedingte Figuren hervorrufen. Es wird sich ebenso ein ähnliches Verhältniß zeigen, wo überhaupt ein überall gleichmäßiger chemischer Angriff einer krystallisirten Substanz stattfindet, einerlei, ob ein Bestandtheil durch das angreifende Mittel entfernt wird oder nicht, oder ob, wie z. B. bei der Oxydation von Metallen ein Körper neu hinzutritt, weil hierbei die innere Anordnung der Bestandtheile des Krystalles in Frage kommt.

Meine Absicht ist es, die Untersuchung auch nach der angedeuteten Richtung hin auszudehnen, sobald es mir gelungen seyn wird, die Beobachtungen über die Verwitterung wasserhaltiger Krystalle zu einem allseitig befriedigenden Abschlusse zu bringen.

Göttingen, den 21. April 1865.

II. Ueber die innere Reibung der Gase; von Oskar Emil Meyer.

(Schluss von S. 420.)

§. 5.

Beobachtungen zur Prüfung der Methode.

Im vorletzten Paragraphen ist ein Umstand erwähnt worden, durch welchen meine Bestimmungen der Luftreibung fehlerhaft geworden seyn können. Ehe ich die Messungen selbst mittheile, will ich die Beobachtungen anführen, welche ich unternommen habe, die Gröfse dieser Fehler zu beurtheilen. An diese werde ich die Beurtheilung der Mängel der Methode anschließen, welche Sabine und Baily zur Bestimmung der Bessel'schen Pendelcorrection benutzt haben.

Die hauptsächlichste Voraussetzung, auf welche die Theorie sich stützt, ist die, dafs die auf einander folgenden Schwingungsamplituden des Scheibenapparats eine geometrische Reihe bilden. Zu zeigen, bis zu welchem Grade diese Voraussetzung berechtigt ist, theile ich als Beispiel die beobachtete Reihe von Amplituden mit, auf welcher die Bestimmung eines bereits erwähnten Werthes des logarithmischen Decrements beruht, nämlich die am 23. September 1862 ausgeführte Bestimmung $\varepsilon = 0,00301$ für den Apparat mit Messingscheiben (§. 4, S. 415).

beobachtet	berechnet	Differenz
10° 51' 0"	10° 48' 9"	- 2' 51"
9 28 20	9 27 42	- 0 38
8 17 10	8 17 13	+ 0 3
7 15 0	7 15 30	+ 0 30
6 21 0	6 21 26	+ 0 26
5 33 30	5 34 5	+ 0 35
4 52 30	4 52 37	+ 0 7
4 16 0	4 16 17	+ 0 17

beobachtet	berechnet	Differenz
3° 44' 20"	3° 44' 29"	+ 0' 9"
3 16 50	3 16 37	- 0 13
2 52 10	2 52 12	+ 0 2
2 31 10	2 30 50	- 0 20

In dieser Tabelle stehen unter der Ueberschrift »beobachtet« die Winkelwerthe, welche aus den auf der geraden Scale abgelesenen Tangenten der doppelten Winkel unter Benützung der gemessenen Entfernung der Scale von der Drehungsaxe des Apparats berechnet worden sind. Der mögliche Fehler jeder dieser Zahlen beträgt etwas mehr als 10 Secunden. Diese Reihe ist der Berechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate unterworfen worden, indem der Logarithmus des richtigen Werthes des ersten Winkels und das logarithmische Decrement als unbekannte Größen angesehen wurden. Aus den berechneten Werthen derselben sind dann rückwärts die Winkel berechnet worden. Diese berechneten Werthe, welche also genau eine geometrische Reihe bilden, sind in der zweiten Columnne unter »berechnet« aufgeführt. Die dritte enthält die Differenzen der beobachteten und berechneten Werthe, welche, wie man sieht, fast ganz innerhalb der Gränzen der möglichen Beobachtungsfehler liegen.

Dann habe ich mir die Aufgabe gestellt, durch eine Reihe von Beobachtungen zu entscheiden, ob die Bewegung des Apparates durch die Wände des abgeschlossenen Raumes, in dem er aufgehängt war, merklich gehindert wurde. Zu diesem Zwecke maß ich das logarithmische Decrement der Amplituden des Apparates, wenn dessen Scheiben in verschiedenen Abständen von einander, also auch vom Boden und Deckel der Glocke, sich befanden. Diese Messungen sind genügend, die angeregte Frage zu entscheiden. Denn wenn die Tiefe der Glocke ausreichend ist, um die Uebertragung der Bewegung von den Scheiben bis zum Deckel oder bis zum Boden der Glocke unmöglich zu machen, so muß das logarithmische Decrement, wenn man die Scheiben einander nähert, in der Weise abneh-

men, daß es anfangs rasch, dann langsamer sich verringert, darauf eine Weile nahe constant bleibt, um dann wieder anfangs langsamer, dann rascher bis auf etwas mehr als den dritten Theil jenes constanten Werthes abzunehmen. Denn bei weiten Entfernungen der Scheiben von einander wird sich der hemmende Einfluß der Wände auf die äußeren Scheiben stark bemerkbar machen, dagegen bei geringem Abstände die gegenseitige Einwirkung der Scheiben auf einander; und diese letztere äußert sich in der Weise, daß durch sie die zwischen den Scheiben enthaltene Luft einer Scheibe einen Theil der Geschwindigkeit wieder mittheilt, den sie einer anderen entzog; daher nimmt bei sehr genäherten Scheiben die Bewegung des Apparats langsamer ab, und folglich nimmt das logarithmische Decrement mit abnehmendem Abstände der Scheiben ebenfalls ab.

Die Resultate der an dem messingenen Scheiben-Apparat angestellten Beobachtungen sind in folgender Tabelle enthalten.

1862.	A	B	T	a	B
Dec. 11	48	0,00448	14",28	21°,6	751,0
	45	312	29	21,9	750,7
	40	331	22	22,2	750,6
" 12	40	328	21	22,6	751,7
	35	306	23	23,0	753,4
	30	301	23	22,3	754,0
" 13	30	298	21	20,2	756,5
	25	285	19	21,6	753,5
" 14	25	307	19	20,5	758,3
	20	271	19	22,3	759,2
	15	216	19	23,5	760,0
" 15	15	220	18	21,7	763,0
	10	185	18	22,6	763,1
	5	155	18	23,3	763,2
	2	167	14	23,4	763,3
" 16	2	161	13	21,5	763,7
" 18	0	155	19	21,6	755,5
	00	141	22	22,4	755,4

In der ersten Columnne dieser Tabelle ist der Tag der Beobachtung angegeben; die zweite mit h überschriebene enthält den Abstand der äusseren Scheiben von der mittleren in Millimetern; die in derselben vorkommende Zahl 00 soll bedeuten, daß die zwischen den auf einander gedrückten Scheiben enthaltene Luft durch einige Tropfen dazwischen gebrachten Oels verdrängt worden war, während eine einfache 0 andeutet, daß die Scheiben ohne Oel aufeinandergedrückt waren. Die dritte Columnne enthält das logarithmische Decrement ε der Amplituden in natürlichen Logarithmen, die vierte die gleichzeitig beobachtete Schwingungszeit T des Apparats. Beide Gröfsen sind durch je 8 Beobachtungen bestimmt, welche einen Zeitraum von 98 Schwingungen oder etwa 25 Minuten umfassen; die Werthe der Schwingungszeiten sind nicht auf unendlich kleine Amplituden reducirt, da diese Correction, deren Werth etwa $0^{\circ},004$ betragen würde, unnöthig erschien. In der fünften Columnne ist dann unter α die Angabe des in dem Teller der Glocke angebrachten Thermometers in Graden der hunderttheiligen Scale aufgeführt; und endlich enthält die sechste Columnne den abgelesenen Barometerstand, welcher nicht auf 0° reducirt worden ist.

Die unter einander gestellten Werthe des logarithmischen Decrements ε zeigen im Grofsen und Ganzen das vorausgesehene Verhalten in ihrem Abnehmen mit den kleiner werdenden Werthen der Distanz h . Denn z. B. ist der Unterschied zwischen den beiden Werthen von ε , welche den Werthen 20 und 40 von h entsprechen, beträchtlich geringer, als die den Werthen $h=0$ und $h=20$ oder den Werthen $h=40$ und $h=48$ entsprechenden Differenzen. Man kann also schliessen, daß der Einflufs der Wandungen auf die Scheiben, wenn diese sich in Entfernungen von etwa 30 oder 35 Millimeter von einander befinden, jedenfalls nicht bedeutend ist.

Indefs scheint dieser Einflufs doch nicht verschwindend klein zu seyn, obwohl ihn manchmal zufällige Schwankungen in den beobachteten Werthen der logarithmischen De-

cremente verdecken. Ich unternahm, um dies aufzuklären, eine zweite kleinere Reihe von Beobachtungen, bei deren jeder ich eine grössere Genauigkeit dadurch zu erreichen suchte, daß ich die 8 Messungen über einen Zeitraum von 350 Schwingungen ausdehnte. Die folgende kleine Tabelle enthält die Resultate dieser Beobachtungen.

1863.	Oct. 24.	Oct. 25.	Oct. 25.
h	25 ^{mm}	30	35
ϵ	0,00301	0,00322	0,00330
T	14",191	14,222	14,177
α	18°,4 C.	18,4	18,7
β	18°,7 C.	19,2	18,9
γ	17°,8 C.	18,2	18,1
B	754 ^{mm} ,5	755,0	754,7

In dieser Tabelle haben die Zeichen dieselbe Bedeutung, wie in der ersten; es sind nur noch die Ablesungen der Thermometer β und γ ausserhalb des Apparates (Fig. 2 Taf. II) hinzugefügt worden. Die Werthe der Schwingungszeiten sind auf unendlich kleine Bögen reducirt. Die Ablesungen des Barometers sind nicht wegen der Temperatur desselben, welche gleich der des Thermometers β anzunehmen ist, corrigirt. Die bei den Versuchen in der Glocke enthaltene Luft war vorher durch die mit Chlorcalcium gefüllten Röhren C Fig. 2 geleitet und so getrocknet worden.

Die angegebenen Zahlenwerthe des logarithmischen Decrements ϵ zeigen deutlich, daß sie mit steigendem Werthe der Entfernung h der Scheiben ebenfalls zunehmen. Doch ist die Zunahme zwischen den Werthen von $h = 30$ und 35 Millimeter sehr gering, sie beträgt nur den 40. Theil des ganzen Werthes des Decrements. Der Einfluss des Bodens und des Deckels der Glocke auf die Schwingungen des Apparats wird also auch nicht grösser seyn, als daß er das logarithmische Decrement um etwa seinen 40. Theil vermehren kann, wenn die Scheiben in einer Entfernung von 30 bis 35 Millimeter von einander abstehen, so daß die obere vom Deckel der Glocke etwa 20 Milli-

meter entfernt ist. Da nun bei Messungen dieser Art eine Genauigkeit, welche die beobachtete GröÙe bis auf den 40. Theil ihres Werthes verbürgt, kaum zu erreichen ist, so habe ich ohne Bedenken geglaubt, diesen geringen Einfluß der Wände ganz vernachlässigen zu dürfen.

Aehnlich wie in diesen Versuchen den Einfluß des Deckels und Bodens der Glocke, habe ich auch versucht, den der cylindrischen Wand derselben durch Beobachtungen zu schätzen. Ich habe zu dem Ende die Glocke unter dem Teller seitlich, soweit es sich thun lieÙ, verschoben und den Einfluß dieser Verschiebung auf das logarithmische Decrement bestimmt. Zu diesen Versuchen diente ebenfalls der Apparat mit messingenen Scheiben, und diese befanden sich in einer Entfernung von 30 Millimeter von einander. Es wurde beobachtet am 22. Febr. 1863:

Verschiebung der Glocke	0	3 ^{mm}	6 ^{mm}
Logar. Decrement	0,00294	0,00297	0,00298
Schwingungszeit	14",213	14,210	14,211
Temperatur	21°,1 C.	21,3	21,1
Barometer (nicht reduc.)	754,1	754,3	754,8

Die Veränderung des logarithmischen Decrements ist also sehr unbedeutend. Doch ist zu beachten, daß sie nicht den ganzen Einfluß der Wandung repräsentirt, weil die Glocke auf der einen Seite sich um ebenso viel von den Scheiben entfernt, wie sie denselben auf der andern genähert wird. Jedenfalls aber ist auch dieser Einfluß nicht bedeutend.

Ueberhaupt geht aus den mitgetheilten Versuchen hervor, daß die Dimensionen der Glasglocke nicht ganz ausreichend sind, um den Einfluß der Wandungen auf die Schwingungen des Apparats verschwindend klein zu machen. Dennoch aber glaube ich die GröÙe der Glocke für richtig gewählt halten zu dürfen; denn, wäre sie größer gewesen, so würde auch mehr zu fürchten gewesen seyn, daß in ihrem Innern durch Ungleichheit der Temperatur Luftströmungen entstehen könnten, welche die Bewegung des Apparats noch mehr gestört haben würden, und

zwar in einer Weise, welche sich nicht *a priori* übersehen läßt. Von dem Einflusse der Wandungen aber kann nur die Wirkung entstehen, daß die Bestimmung der Luftreibung etwas zu groß ausfällt, so daß meine Beobachtungen wenigstens eine obere Gränze der gesuchten GröÙe liefern, die ihr Werth nicht übersteigen kann.

Wenn nun nach den oben mitgetheilten Zahlen die Reibung der Luft auf weitere Strecken eine zwar nicht bedeutende, aber doch merkliche Wirkung überträgt, so ist nach denselben Zahlen auch dann ihr Effect nicht unerheblich, wenn die Luft in engen Zwischenräumen eines Körpers von demselben mitgeführt wird. Diefs zeigen die letzten Zahlen der gröÙeren Beobachtungsreihe über die Abhängigkeit des logarithmischen Decrements von dem gegenseitigen Abstände der Scheiben. Insbesondere sind die beiden letzten von Interesse. Waren die Scheiben einfach auf einander gedrückt, so wurde das Decrement 0,00155 beobachtet; als aber zwischen die zusammengepreßten Scheiben Oel gebracht worden war, sank das Decrement auf 0,00141. Man könnte den Grund dieser Erniedrigung darin suchen, daß durch das zwischengebrachte Oel die Masse, also auch die Trägheit des Apparats vermehrt worden ist. Wenn indess diels der wirkliche Grund wäre, so müßte gleichzeitig eine VergröÙerung der Schwingungsdauer in fast demselben Verhältnisse beobachtet worden seyn. Dieselbe beträgt aber nur 0,03 Secunden, ist also nur ein sehr kleiner Bruchtheil der beobachteten Werthe der Schwingungszeiten von 14,19 und 14,22 Secunden. Demnach kann der Grund der viel beträchtlicheren Aenderung des logarithmischen Decrements durch das zwischen die Scheiben gebrachte Oel nicht in einer Vermehrung des Trägheitsmoments des Apparats gesucht werden, sondern nur darin, daß durch das Oel die Bewegung und damit auch die Reibung der Luft in den engen Zwischenräumen zwischen den Scheiben aufgehoben wird.

Aus diesem Grunde habe ich es für nöthig gehalten, bei allen Beobachtungen, die ich mit vereinigten Scheiben

angestellt habe, zwischen die Scheiben Oel zu bringen, um die Reibung der Luft an den inneren Flächen der Scheiben völlig zu beseitigen. Durch dieses Mittel wird nun freilich statt der Reibung der Luft diejenige des Oels wieder eingeführt, also eines Mediums, das eine sehr große innere Reibung besitzt¹⁾. Aber gerade diese Eigenschaft macht das Oel zu dem gewünschten Zwecke besonders tauglich; denn große innere Reibung eines Mediums ist nur ein theoretischer Ausdruck für die Thatsache, daß in einem solchen nur geringe relative Verschiebungen benachbarter Theile möglich sind. Diese Eigenschaft aber wird gewünscht. Das beste Bindemittel zwischen den Flächen der Scheiben wäre ein Körper, dessen Theile sich nicht verschieben, d. h. eines festen Körpers oder eines solchen, der in diesem Sinne eine unendliche innere Reibung besitzt.

Nach den ausgeführten Erörterungen besitzen wir in der ersten Beobachtungsreihe über die Abhängigkeit des logarithmischen Decrementes von dem Abstände der Scheiben bereits ausreichende Mittel, die Reibungsconstante der Luft mit genügender Genauigkeit zu berechnen. Es ist nur nöthig, in die im §. 3 entwickelte Formel (402)

$$\lambda = \epsilon' - \epsilon = \pi \frac{R^4}{M} \sqrt{\frac{\pi}{2}} \eta \rho T$$

aus der Tabelle, welche die Beobachtungen enthält, die Werthe der Decrementes s und ϵ' einzuführen. Für die erstere dieser Größen ist nach der letzten Bemerkung der Werth

$$s = 0,00141$$

anzunehmen, welcher beobachtet wurde, als die Scheiben mit Oel vereinigt waren. Dagegen stellt ϵ' nach den Voraussetzungen der Theorie den Werth dar, welcher sowohl von dem Einflusse der Scheiben auf einander, als auch von dem der umgebenden Wände auf den Apparat möglichst frei ist. Nach dem obigen genügen dieser Anforderung am besten Werthe, welche bei einem gegenseitigen Abstände der Scheiben von 30 bis 35 Millimeter gewonnen worden

1) Pogg. Ann. Bd. 113 S. 410.

sind. Ich nehme demnach das Mittel aus den drei bei diesem Abstände erhaltenen Bestimmungen 0,00306, 0,00301, 0,00298 und setze

$$\delta' = 0,00302,$$

also

$$\lambda = 0,00161.$$

Diesen Werth führe ich in die Formel ein, setze in derselben ferner, wie es sich gehört, R gleich dem Radius der kleinsten, der mittleren Scheibe

$$R = 99,88 \text{ Millimeter}$$

und

$$M = 55500$$

bezogen auf Gramm und Centimeter, endlich

$$T = 14",22.$$

Dann wird, ebenfalls auf Gramm und Centimeter als Einheiten bezogen,

$$\sqrt{\eta \rho} = 0,000605,$$

entsprechend einer Temperatur von etwa 22°C .

Nehme ich die Dichtigkeit der Luft bei 0° gleich dem 770. Theile von der des Wassers, ferner den Ausdehnungscoëfficienten derselben $= 0,003665$, so erhalte ich aus dieser Zahl für 22°C .

$$\sqrt{\eta} = 0,0175.$$

$$\eta = 0,000305,$$

welche beide Zahlen auf die Dichtigkeit des Wassers und auf Centimeter als Einheiten bezogen sind.

Dieser Werth der Reibungsconstante der Luft stimmt recht genau mit dem aus Bessel's Correction hergeleiteten Werthe

$$\sqrt{\eta} = 0,0166$$

überein, dagegen keineswegs mit dem von Stokes aus Baily's Versuchen hergeleiteten

$$\sqrt{\eta} = 0,0102,$$

der nach einer anderen Methode bestimmt worden ist.

Eine derselben vollkommen analoge Methode läßt sich auf eine oben mitgetheilte Beobachtung anwenden. Bei Gelegenheit der Bestimmung des Trägheitsmoments des Messingscheiben-Apparats ist das logarithmische Decrement der Amplituden desselben im luftverdünnten Raume und

in der Luft beobachtet worden. Aus den mitgetheilten Zahlen (S. 414—5) stelle ich folgende noch einmal zusammen.

Mittlere Temperatur	18,7 C.	14,9 C.	
Schwingungszeit im Mittel	14",181	14",222	
Log. Decr. {	im luftl. Raume	0,00144	0,00140
	in der Luft	0,00302	0,00301

Wenn man, wie es Stokes gethan hat, berechtigt ist, die Reibung der verdünnten Luft als verschwindend klein zu vernachlässigen, so ist es auch gestattet, die Reibungsconstante der Luft nach der Formel

$$\epsilon' - \epsilon'_0 = 3 \frac{\pi R^4}{2M} \sqrt{\frac{\pi}{2}} \eta \rho T$$

zu berechnen, in der ϵ'_0 das logarithmische Decrement des mit drei getrennten Scheiben in dem als luftleer angesehenen Raume schwingenden Apparates bezeichnet, ϵ' dieselbe Gröfse für Schwingungen in der Luft von gewöhnlicher Dichtigkeit ρ . Zu dieser Formel ist der Factor $\frac{3}{2}$ hinzuzutreten, weil es sich nach dieser Methode um die Reibung an allen 6 Flächen der Scheiben handelt, nicht blofs um die an den vier inneren, welche nach der ersten Methode bei einem der beiden Versuche verdeckt werden.

Vergleicht man nun die numerischen Werthe von ϵ' und ϵ'_0 mit den von ϵ' und ϵ , welche ich soeben zur Berechnung der Reibung verwandt habe, so sieht man schon ohne Rechnung ein, dafs die neue Art der Bestimmung zu einem ganz abweichenden Resultate führen mufs. Denn die Werthe von ϵ und ϵ'_0 sind einander genau gleich, ebenso stimmen die von ϵ' gut mit einander überein, die Formeln aber, welche in beiden Fällen anzuwenden sind, unterscheiden sich um den Factor $\frac{3}{2}$. Daraus folgt, dafs die neue Berechnung für die Quadratwurzel des Reibungscoëfficienten einen Werth liefern mufs, der nur $\frac{2}{3}$ des früheren beträgt. Man erhält also etwa

$$\sqrt{\eta} = 0,0117,$$

wenn man durch dieses dem Stokes'schen analoge Verfahren die Bestimmung ausführt.

Vergleicht man das erhaltene Resultat mit dem von Stokes selber angegebenen

$$\sqrt{\eta} = 0,0102,$$

so zeigt sich im Gegensatze zu den soeben angegebenen Zahlen eine merkwürdige Uebereinstimmung.

Somit hat sich ergeben, daß meine Beobachtungen durch die beiden Methoden der Berechnung zu verschiedenen Resultaten führen, welche entweder mit den aus Bessel's oder mit den aus Baileys Versuchen hergeleiteten Folgerungen übereinstimmen, je nachdem das der Rechnung zu Grunde gelegte Princip dem von dem einen oder von dem anderen dieser beiden ausgezeichneten Beobachter angenommenen analog ist. Da alle im folgenden mitgetheilten Beobachtungen dieß übereinstimmend bestätigen, so kann die Ursache der bemerkten Abweichung nicht in zufälligen Beobachtungsfehlern liegen; und es kann kaum ein Zweifel bestehen, daß auch die von Stokes gefundene Abweichung zwischen den Resultaten der Messungen Baileys und Bessel's nicht in den Fehlern oder in etwaigen Störungen der Beobachtungen, sondern lediglich in der Interpretation derselben ihren Grund findet.

Es wirft sich also die Frage auf, welches der beiden Principien der Beobachtung dem anderen vorzuziehen ist. Diese Frage läßt sich nach den bisher mitgetheilten Erfahrungen noch nicht entscheidend beantworten; sie wird aber, wie ich hoffe, durch die Versuche, welche im folgenden Paragraphen angegeben werden, unzweifelhaft entschieden werden.

Ich weiß nur gegen die eine der beiden Methoden einen erheblichen Einwand geltend zu machen, nämlich gegen diejenige, nach welcher zwei Beobachtungen combinirt werden, von denen die eine in der Luft, die andere im möglichst luftleeren Raume ausgeführt worden ist. Da sich kein absolut luftleerer, sondern nur ein luftverdünnter Raum herstellen läßt, so wird von der verdünnten Luft immerhin noch einige Reibung erzeugt werden. Vernach-

lässt man diese, so ist die Folge, dass die Bestimmung des Reibungscoefficienten zu klein ausfällt.

In der That sind die nach dieser Methode erhaltenen Werthe kleiner als die auf die andere Weise bestimmten; sie sind aber so beträchtlich kleiner, dass eine Erklärung aus diesem Einwande Bedenken erregen muss. Aus der Gleichheit der oben angegebenen Zahlenwerthe der logarithmischen Decremente (ϵ und ϵ_0) wird man nämlich nach dieser Erklärung auf einen so grossen Werth der Reibung verdünnter Luft schliessen müssen, dass ein Apparat mit drei Scheiben im luftverdünnten Raume etwa dieselbe Verzögerung durch Reibung erfährt, wie ein gleich schwerer und gleich träger mit einer Scheibe in Luft vom gewöhnlichem Drucke der Atmosphäre.

So unwahrscheinlich diese Annahme klingen mag, so wird ihre Richtigkeit dennoch durch Versuche unzweifelhaft nachgewiesen, welche weiter unten mitgetheilt werden sollen. Beobachtet man nämlich im möglichst luftleer gepumpten Raume das logarithmische Decrement des Scheibenapparats, einmal mit getrennten und das andere Mal mit vereinigten Scheiben, so findet man eine sehr merkliche Differenz beider Grössen, durch welche deren Verhältniss etwa auf das von 2 zu 3 gebracht wird. Ich weis für diese Abweichung keine andere Erklärung aufzustellen, als dass ich wirklich annehme, dass auch in möglichst verdünnter Luft noch merkliche innere Reibung stattfindet.

Das Auffallende, das diese Annahme enthalten kann, verschwindet, wenn man beachtet, dass die Beobachtung sich nur auf Schwingungen in einem eng begränzten Raume erstreckt, und dass sie nur den Sinn hat, dass in verdünnter Luft der Einfluss der Wandungen sehr viel bedeutender ist als in dichter Luft. Dies aber ist eine nothwendige Folge der früher entwickelten mathematischen Theorie dieser Versuche.

Ich bin nicht zweifelhaft, in diesem Sinne die obige Annahme für richtig zu halten. Demgemäss gebe ich von

den beiden Methoden zur Bestimmung der Reibung derjenigen, nach welcher zwei Beobachtungen bei getrennten und bei vereinigten Scheiben anzustellen sind, den Vorzug vor der anderen, nach welcher eine Beobachtung in der Luft mit einer im luftleeren Raume angestellten zu combiniren ist. Für den richtigen Werth des Reibungscoëfficienten der Luft halte ich daher in Uebereinstimmung mit der Beobachtung Bessel's denjenigen, dessen Quadratwurzel $\sqrt{\eta} = 0,017$ in Centimetern ist.

Baily's Bestimmungen der Pendelcorrection dagegen, aus welchen sich viel kleinere Werthe der Reibung ergeben, sowie die von Sabine ausgeführten, halte ich für ungenau und zwar sämmtlich für beträchtlich zu klein. Nur Bessel's eigene Bestimmung verdient Vertrauen.

Ich bin jedoch weit entfernt, durch diese Behauptung die außerordentliche Sorgfalt und die bedeutende Geschicklichkeit jener beiden Beobachter in Zweifel ziehen zu wollen; nur ihre Methode leidet an einem Fehler, den man *a priori* nicht erwarten konnte. Die ausgezeichnete Genauigkeit der Messungen ergibt sich vielmehr aus der glänzenden Uebereinstimmung, die Baily's Resultate mit der von Stokes entwickelten Theorie zeigen. Diese Uebereinstimmung beweist aber nicht die Richtigkeit des aus den Beobachtungen berechneten Werthes des Reibungscoëfficienten der Luft, sondern sie ist nur eine Folge davon, daß die Pendel alle mit gleicher Schwingungsdauer in demselben Vacuum-Apparate und in gleich verdünnter Luft ihre Schwingungen ausführten.

Einige weitere Anhaltspunkte zur Beurtheilung und Prüfung der Methode werden die im folgenden §. enthaltenen Beobachtungen abgeben.

§. 6.
Beobachtungen zur Bestimmung der Reibung trockner
Luft als Function ihres Druckes.

Erste Beobachtungsreihe; messingener Apparat.

1863. Februar 23. Scheiben in 30 ^{mm} Abstand.				
p	α	γ	ϵ'	T
751,4	20,9	19,3	0,002967	14,205
497,3	21,4	20,2	2450	207
246,8	21,8	20,2	1838	202
11,6	21,6	19,9	1560	199

Februar 24. Scheiben mit Oel auf einander.				
p	α	γ	ϵ'	T
8,0	21,8	20,5	0,000997	14,194
251,1	23,0	21,2	1109	196
500,6	23,2	20,9	1238	195
757,5	23,3	21,1	1368	191

Februar 25. Scheiben in 30 ^{mm} Abstand.				
p	α	γ	ϵ'	T
7,1	23,4	20,1	0,001555	14,197
251,4	23,0	20,3	1928	196
498,3	22,4	20,5	2480	194
758,0	23,0	21,5	3050	193

In dieser Tabelle enthält die erste Columnne den Druck p in Millimeter Quecksilber von 0°, unter welchem die dem Versuche unterworfenen Luft sich befand. Dieselbe war beim Einströmen in den Apparat getrocknet worden. Der Druck ist hergeleitet aus den Mittelwerthen der zu Anfang und zu Ende eines jeden Versuchs vorgenommenen und auf 0° reducirten Ablesungen des am Apparate angebrachten Manometers und des neben demselben aufgehängten Barometers.

Die zweite und dritte Reihe der Tabelle enthalten in Centesimalgraden die Angaben der beiden Thermometer α und γ , von denen das erstere im Deckel der Glocke, das zweite am Fusse derselben befestigt war, und zwar sind die aufgeführten Zahlen ebenfalls Mittelwerthe aus den zu Anfang und am Ende jedes Versuches gemachten Ablesun-

gen. Die Temperatur der untersuchten Luft α erscheint durchgängig höher als die der Umgebung γ ; dies Verhalten beider Thermometer habe ich constant beobachtet, wenn das Zimmer geheizt war; es hat seinen Grund in der verschiedenen Höhe über dem Fußboden.

Die Columnen ε und ε' enthalten die logarithmischen Decremente, bezogen auf natürliche Logarithmen, T die Schwingungsdauer des Apparats in Secunden. Beide Bestimmungen beruhen auf je 8 wiederholten Messungen in einem Intervalle von 98 Schwingungen. Die Werthe der Schwingungszeiten sind nicht auf unendlich kleine Amplituden reducirt, daher durchschnittlich um etwa $0^{\circ},003$ zu groß angegeben.

Indem ich die Werthe von ε' durch lineare Interpolation zwischen beiden Beobachtungsreihen auf denselben Druck reducire, der bei der entsprechenden Bestimmung von ε stattfand, und dann ε subtrahire, erhalte ich aus obiger Tabelle:

Temp. α	Druck p	Log. Dec. $\lambda = \varepsilon' - \varepsilon$	Schwingungszeit T
22°,4 C.	757,5	0,001676	14'',196
22,3	500,6	1311	199
22,6	251,1	0813	198
22,25	8,0	0559	197

Aus diesen Werthen von λ ist nach einer oben aufgestellten Formel die Größe $\sqrt{\eta\rho}$ herzuleiten, ferner aus p die Dichtigkeit ρ und daraus endlich die Reibungsconstante η .

Setze ich dabei die Dichtigkeit der Luft bei 0° und bei 760^{mm} Barometerstand = $\frac{1}{773}$, den Ausdehnungscoefficienten derselben = 0,003665, so erhalte ich aus den ersten drei Messungen folgende Resultate.

Temp. α	Druck p	$\sqrt{\eta\rho}$	$\sqrt{\eta}$	Reibungsconst. η
22°,4 C.	757,5	0,000631	0,0182	0,000332
22,3	500,6	493	175	307
22,6	251,1	306	154	236

Zwischen dem Drucke und der Reibung der Luft er- giebt sich also die Beziehung, daß, wenn der Druck von einer auf $\frac{1}{3}$ Atmosphäre sinkt, die Quadratwurzel aus dem Reibungscoefficienten nur um etwa ihren sechsten Theil, der Reibungscoefficient selbst um den dritten bis vierten Theil seines Werthes abnimmt. Wir erhalten also nicht vollkommen genau das von Maxwell aus theoretischen Betrachtungen hergeleitete Gesetz, nach welchem die Reibungsconstante eines Gases von der Dichtigkeit desselben unabhängig seyn soll. Doch zeigt die Beobachtung, daß dieß theoretische Gesetz immerhin als eine Annäherung an die Wirklichkeit angesehen werden darf, da sich die Reibung der Luft in viel geringerem Maasse ändert als die Dichtigkeit derselben.

Zudem ist zu beachten, daß das Maxwell'sche Gesetz selbstverständlich nur innerhalb enger Gränzen gelten kann, weil es sonst verlangen würde, daß ein Gas von der Dichtigkeit 0 eine ebenso große Reibung besitzen müsse wie unter normalem Drucke, oder daß ein gar nicht vorhandenes dieselbe Reibung ausüben würde wie ein wirklich existirendes. Eine beschränkte Gültigkeit des Gesetzes ist durch die angegebenen Beobachtungsergebnisse nicht ausgeschlossen, vielmehr wahrscheinlich gemacht.

Während sich die besprochenen drei Beobachtungen unter einander und mit der Theorie in genügender Uebereinstimmung befinden, macht die Erklärung der vierten, bei 8^{mm} Druck angestellten Beobachtung nicht unerhebliche Schwierigkeiten. Bei diesem geringen Drucke ist die Differenz 0,000559 der logarithmischen Decremente beobachtet, welche kaum kleiner ist als die bei dem mehr als 30mal größeren Drucke von 251,1 Millimeter gefundene 0,000813. Hieraus schon ergibt sich, daß dieselbe Methode zur Berechnung der Reibungsconstante bei diesem geringen Drucke nicht zu einem glaubwürdigen Resultate führen kann.

Die Größe der beobachteten Differenz beweist, daß in sehr verdünnter Luft der Vorgang wesentlich anders ist als in dichter Luft. Man kann an zweierlei Ursachen einer

solchen Aenderung denken. Zunächst kann der Grund in einem vermehrten Einflusse der Wandungen auf die Schwingungen des Apparats bestehen; und ein solcher muß eintreten, da sich, wenn die Reibungsconstante sich weniger rasch ändert als die Dichtigkeit, die Bewegung in dünner Luft weiter ausbreiten muß als in dichter. Ich halte diesen Grund für den wahrscheinlichsten, will aber nicht verschweigen, daß auch noch ein anderer möglich scheint, der mit der theoretischen Vorstellung Maxwell's über die Natur der Reibung zusammenhängt und deshalb bei der Besprechung derselben im letzten §. dieser Abhandlung erwähnt werden soll. (S. 595.)

Wegen dieser Unsicherheit der Erklärung unterlasse ich, aus jener vierten Beobachtung einen Schluß auf die Größe der Luftreibung bei sehr geringem Drucke zu ziehen. Ich beschränke mich darauf, die Bedeutung des Versuches für die Beurtheilung der Beobachtungsmethode von Sabine und Baily, von der im vorigen §. die Rede war, hervorzuheben und daran zu erinnern, daß die jetzt mitgetheilte Erfahrung mit zur Entscheidung über den Werth jener Methode herangezogen wurde¹⁾. (s. S. 575.)

Zweite Beobachtungsreihe; messingener Apparat.

1863.	h	p	α	β	γ	T
April 4	30	4,1	20,0	20,6	19,0	0,001500 14,178
	0	4,9	21,4	21,7	19,9	0963 180
» 5	0	71,2	21,6	22,7	20,9	1014 181

1) Wenn es erlaubt ist, von einem Cabinets-Versuch auf die Vorgänge in der Erdatmosphäre zu schließen, und das bei geringen Geschwindigkeiten beobachtete Verhalten auch bei rascher Bewegung vorauszusetzen, so haben die Erfahrungen über die unbedeutende Verringerung der Reibung mit abnehmendem Drucke der Luft einige Bedeutung für die meteorologischen Erscheinungen in den oberen Schichten der Atmosphäre. Namentlich sind hier die Sternschnuppen, welche häufig in einer Höhe erscheinen, welche höher als die gewöhnlich angenommene Gränze der Atmosphäre ist, zu erwähnen und die Hypothese, welche Joule über diese Körper aufgestellt hat. (*Phil. mag. 3. ser., Vol. 32, p. 349, 1848.*)

1863.	h	p	α	β	γ	ϵ	T
	30	71,2	22,0	22,0	20,3	0,001593	14,181
April 6	30	240,1	19,6	20,9	19,7	1901	180
	0	239,3	22,3	21,8	20,4	1161	185
» 10	0	497,1	20,1	21,2	19,8	1216	186
	30	492,8	21,7	21,0	18,9	2584	210
» 11	30	747,3	22,1	22,5	21,1	3102	210
	0	747,0	22,5	22,6	20,5	1483	192

In dieser Tabelle bezeichnet h den Abstand der Scheiben von einander in Millimetern; bei den Beobachtungen, für welche derselbe $= 0$ angegeben ist, befand sich Oel zwischen den Scheiben. Die zweite Columnne enthält den Druck p der untersuchten Luft, ausgedrückt durch die Höhe einer Quecksilbersäule von 0° in Millimetern; α , β , γ sind die mittleren Stände dreier Thermometer im Apparate, über demselben und an seinem Fusse in Graden der hunderttheiligen Scale. Die in den letzten Columnnen enthaltenen Werthe des logarithmischen Decrements ϵ und der Schwingungsdauer T sind durch je 12 Beobachtungen innerhalb eines Intervalls von 462 Schwingungen bestimmt und nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet worden; ϵ bezieht sich auf natürliche Logarithmen; T ist in Secunden angegeben und auf unendlich kleine Schwingungen reducirt.

Die Beobachtungen sind mit denen der ersten Reihe in erfreulicher Uebereinstimmung. Ich verwende sie in derselben Weise wie jene zur Berechnung der Reibung und verzichte aus denselben Gründen wie dort auf die Berechnung der zwei ersten Beobachtungen. Es ergibt sich:

Temp.	Druck	$\sqrt{\eta}$	$\sqrt{\eta}$	η
22°,3 C.	747,2	0,000609	0,0177	0,000313
20,9	494,9	515	183	336
21,0	239,7	279	143	204

Vergleicht man diese Resultate mit den oben angegebenen, so stellt sich der Unterschied heraus, daß in der neuen Reihe die Reibung der Luft von $\frac{2}{3}$ Atmosphärendruck größer erscheint als bei vollem Atmosphärendrucke, während

nach der früheren Reihe die Luft von größerer Dichtigkeit auch größere Reibung besitzen sollte. Die Aenderung der Reibung zwischen den Druckgränzen von 1 und $\frac{2}{3}$ Atmosphären verschwindet also schon gegen die Fehler meiner Beobachtungen.

Dritte Beobachtungsreihe; gläserner Apparat.

1863.	λ	p	α	β	γ	z	T
Dec. 24	35	747,7	16,2	18,4	16,6	0,00781	8,906
	0	750,5	19,0	19,7	17,9	439	8,891
» 28	35	501,1	18,9	20,3	18,6	713	8,885
	0	498,3	20,3	20,9	19,0	390	8,895
» 29	0	253,0	19,5	20,6	18,9	357	8,894
	35	247,9	20,7	21,5	19,6	565	8,900
» 30	35	1,4	21,3	22,1	20,1	376	8,893
	0	22,2	21,9	22,2	20,2	303	8,897

In dieser neuen Reihe correspondiren sich immer gegenseitig zwei Beobachtungen, von denen die eine bei vereinigten Scheiben mit zwischengebrachter Oelschicht, die andere bei einem gegenseitigen Abstände derselben von 35 Millimeter angestellt worden sind. Die größere Entfernung wurde statt der von 30 Millimeter bei dem Messingapparate gewählt, weil die Wölbung der Glocke eine größere Annäherung der kleineren Glasscheiben zu gestatten schien.

Die Werthe der logarithmischen Decremente und Schwingungsdauern sind aus je 8 Beobachtungen, welche auf eine Reihe von 350 Schwingungen vertheilt sind, nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet worden. Die Schwingungszeiten sind nicht auf unendlich kleine Amplituden reducirt worden, daher durchschnittlich um 0",001 zu groß.

Aus diesen Beobachtungen habe ich, wie aus den mit dem größeren Apparate angestellten, die Reibungsconstante der Luft berechnet. Dabei habe ich nach früheren Angaben das Trägheitsmoment (S. 417)

$$M = 6580$$

gesetzt, ferner den Radius der Scheiben (S. 409)

$$R = 7,5657 \text{ Centimeter}$$

angenommen, weil dieß der Werth für die kleinste, die mittlere der drei Scheiben, ist, und endlich habe ich im Mittel die Schwingungsdauer

$$T = 8",895$$

angenommen. So hat sich ergeben

Temp.	Druck	$\sqrt{\eta}$	$V\eta$	η
21,6	749,1	0,000585	0,0170	0,000288
20,1	499,7	553	196	385
19,6	250,5	357	178	318

Nach diesen Zahlen scheint die Constanz des Reibungscoefficienten mit veränderlichem Drucke noch weiter zu gehen als nach den früheren, die mit dem anderen Apparat angestellt sind. Welchen mehr Vertrauen beizumessen ist, wage ich nicht zu entscheiden. Ich lasse daher die Frage nach den Grenzen der Gültigkeit und nach dem Grade der Annäherung des Maxwell'schen Gesetzes an die Wirklichkeit dahingestellt seyn und beschränke mich auf den Schluss, den alle Beobachtungen übereinstimmend rechtfertigen, *dass der Reibungscoefficient der Luft mit abnehmender Dichtigkeit sich weit langsamer ändert, als diese*¹⁾.

- 1) Zu demselben Schlusse berechtigt eine vor mehr als hundert Jahren gemachte Beobachtung Bouguer's. Bei den Pendelmessungen, die er mit Condamine in Südamerika ausführte, bemerkte er, dass die Schwingungen des Pendels auf hohen Bergen langsamer abnehmen als an niedrigen Orten. Er giebt an, (*la figure de la terre*, Paris 1749, p. 332), dass sein Pendel die Hälfte seiner Amplitude auf dem 2434 Toisen hohen Pichincha in 22 bis 23 Minuten einbüßte, am Meeresufer dagegen schon in 14 bis 15 Minuten. Die Schwingungen nahmen, wie er ausdrücklich erwähnt, merklich in geometrischer Progression ab. Der von ihm ebenfalls beobachtete Barometerstand beträgt am Ufer der See 28" 1", auf dem Pichincha 15" 9". (S. XXXIX.)

Den angegebenen Zeiten sind die logarithmischen Decremente der Amplituden umgekehrt proportional, und diese sind nach der Theorie dem geometrischen Mittel aus der Dichtigkeit und dem Reibungscoefficienten der Luft proportional, wenn es erlaubt ist, den Widerstand des Pendelfadens zu vernachlässigen. Unter dieser Voraussetzung lässt sich also aus Bouguer's Beobachtung das Verhältniß der Reibungsconstante der dünnen Luft auf dem Berge zu derjenigen der dichteren an der Küste bestimmen. Man findet dieses Verhältniß 0,66 bis 0,83, während

Demnach ist das Maxwell'sche Gesetz jedenfalls angenähert richtig. Auf eine genauere Untersuchung werde ich in der zweiten Abhandlung eingehen, in der ich die Gesetze der Strömung von Gasen durch Röhren berücksichtigen werde.

Die Beobachtungen erlauben noch eine Folgerung. Die mit Hülfe des kleineren gläsernen Apparates gefundenen Werthe der Reibung stimmen, namentlich die bei Atmosphärendruck gewonnenen, recht gut mit den am größeren Messing-Apparate erhaltenen überein. Daraus folgt als Bestätigung der Theorie sowohl, daß die Differenzen der logarithmischen Decremente der vierten Potenz der Radien der Scheiben proportional sind, als auch, daß die Luft an Glas und Messing annähernd gleich fest haftet.

§. 7.

Beobachtungen zur Bestimmung der Reibung trockner Luft als Function ihrer Temperatur.

Maxwell's Theorie verlangt ferner, daß die Reibungsconstante eines Gases mit der Temperatur ϑ proportional der GröÙe

$$\sqrt{1 + \alpha \vartheta}$$

oder hinlänglich angenähert proportional

$$1 + \frac{1}{2} \alpha \vartheta$$

sich ändere, wo α der Ausdehnungscoefficient des Gases also für Centesimalgrade

$$\alpha = 0,003665$$

ist. Es würde also die Reibungsconstante in geringem Grade mit steigender Temperatur wachsen, bei einer Temperatursteigerung von 10° C. um etwa 2 Proc.

Nun liefert aber die Beobachtung nach der Coulomb'schen Methode nicht direct die Reibungsconstante η , son-

das der Dichtigkeiten der Luft an beiden Orten 0,56 ist. Ersteres ist also merklich größer, und es würde noch größer ausgefallen seyn, wenn es möglich wäre, den Widerstand des Fadens zu berücksichtigen.

dem zunächst das geometrische Mittel aus ihr und der Dichtigkeit der Luft

$$\sqrt{\eta \rho}.$$

Diese Gröfse ändert sich proportional

$$\sqrt{1 - \frac{1}{2}\alpha\vartheta} \text{ oder } 1 - \frac{1}{4}\alpha\vartheta$$

mit der Temperatur ϑ . In demselben Verhältnisse wie $\sqrt{\eta \rho}$ wird sich auch die Differenz der logarithmischen Decremente, welche dieser Gröfse proportional ist, ändern, d. h. also dieselbe wird durch eine Temperaturzunahme von ϑ Graden im Verhältnifs von

$$1 : 1 - \frac{1}{4}\alpha\vartheta$$

abnehmen, also durch eine Temperaturerhöhung von 10° C. um etwa 1 Proc. Eine so kleine Aenderung entgeht der Beobachtung. Ist also die Maxwell'sche Theorie richtig, so muß die Messung ergeben, daß die Differenz correspondirender Werthe des logarithmischen Decrements bei vereinigten und bei getrennten Scheiben des Apparats nahezu von der Temperatur unabhängig ist.

Um diese Voraussagung zu prüfen, unternahm ich eine Versuchsreihe, zu der der Apparat mit Glasscheiben verwandt wurde. Ich beobachtete einen Tag im Winter im ungeheizten Zimmer, den folgenden bei möglichst gesteigerter Hitze und den dritten bei mäßiger Zimmertemperatur.

1864.	h	p	α	β	γ	ϵ	T
Jan. 23	0	745,9	8,0	8,3	7,8	0,00368	8,884
	35	745,4	8,7	8,8	8,4	743	8,896
" 24	35	750,8	34,2	36,2	32,0	805	8,901
	0	752,2	34,5	34,9	31,2	428	8,910
" 25	0	756,3	21,4	21,8	20,2	420	8,912
	35	756,9	21,6	21,5	19,9	784	8,911

Jede Beobachtung beruht auf 8 Messungen, welche 350 Schwingungen umfassen. Die Schwingungszeiten sind nicht auf unendlich kleine Bogen reducirt. Alles andere wie oben angegeben.

Hieraus ergeben sich folgende Differenzen λ der loga-

rithmischen Decremente, entsprechend den angegebenen Mittelwerthen von Druck und Temperatur.

Temp.	Druck	λ
8,3	745,7	0,00375
21,5	756,6	364
34,4	751,5	377

Wie man sieht, stimmen die drei Werthe von λ wirklich, wie es die Maxwell'sche Theorie verlangt, innerhalb der Fehlergrößen überein. Demnach ist es sehr wahrscheinlich, daß der Reibungscoefficient in der That das verlangte Gesetz befolgt. Daß dies streng der Fall ist, läßt sich leicht aus Graham's Beobachtungen nachweisen, auf die ich in meiner zweiten Abhandlung zurückkommen werde.

Als Werthe der Reibungsconstante habe ich aus diesen drei Beobachtungen berechnet:

Temp.	Druck	$V\sqrt{\eta\varrho}$	$V\eta$	η
8,3	745,6	0,000642	0,0182	0,000333
21,5	756,6	623	180	323
34,4	751,5	646	191	366

§. 8.

Erklärung der inneren Reibung der Gase und ihrer Gesetze aus der Hypothese der molecularen Stöße.

Das Ergebniss der im Vorstehenden mitgetheilten Experimental-Untersuchung, daß die Reibung der Luft nur in geringem Grade mit dem Drucke und der Temperatur derselben veränderlich ist, stimmt mit den Folgerungen überein, welche Maxwell¹⁾ auf theoretischem Wege aus der Hypothese der geradlinigen Bewegung der Theilchen eines Gases hergeleitet hat. Ich glaube, daß sich die dazu nöthigen Betrachtungen durch Ausschließung unnöthiger Untersuchungen wesentlich vereinfachen lassen. Ich will dies hier zunächst mit möglichst geringen mathematischen Hilfsmitteln versuchen, indem ich hoffe, bald an einem anderen Orte eine strengere mathematische Untersuchung mittheilen zu können.

1) *Phil. mag.* 4th ser. Vol. 19. p. 31. 1860.

Nach der Ansicht, welche ich oben die Hypothese der molecularen Stöße genannt habe, befinden sich die Theilchen eines gasförmigen Mediums in Entfernungen von einander, welche zwar sehr klein, aber bedeutend grösser sind als die Radien ihrer Wirkungssphären, d. h. als die Entfernungen, bis zu welchen die zwischen ihnen stattfindende Anziehung merklich ist. Die Moleculi wirken also nach dieser Vorstellung nicht durch Kräfte auf einander. Man schreibt ihnen aber eine sehr rasche geradlinige Bewegung zu, vermöge deren oft zwei derselben zusammenstossen oder wenigstens in die Wirkungssphären von einander gerathen, so dafs dann eine gegenseitige Einwirkung eintritt. Die lebendige Kraft dieser geradlinigen Molecularbewegung wird als Wärme definirt; und es wird angenommen, dafs, wenn das Gas sich anscheinend in Ruhe befindet, diese Bewegung so stattfindet, dafs von jeder Stelle des Gases aus nach allen möglichen Richtungen in gleichen Zeiten die gleiche Anzahl von Molekülen sich bewegt.

Findet sich an einer Stelle des Gases eine grössere Bewegung als an anderen, so mufs diese durch die Molecularbewegung selbst sich durch den ganzen Raum verbreiten. War die Bewegung an ihrem ursprünglichen Orte so beschaffen, dafs sie nach allen Richtungen des Raumes gleich stattfand, so hat man ihr die physikalische Bedeutung eines Temperatur-Ueberschusses dieser Stelle beizulegen, und ihre Verbreitung durch das gasförmige Medium ist dann die Wärmeleitung desselben.

Entsteht aber an einem Orte eines gasförmigen Mediums ein Ueberschufs an Bewegung nach einer bestimmten Richtung, so ist diese Bewegung keine Wärmebewegung, sondern eine fortschreitende Bewegung des an dieser Stelle befindlichen Gases. Durch die überall vorhandene, nach allen Richtungen gleiche Bewegung der Moleküle der gesamten Gasmasse wird jener Ueberschufs an Bewegung ebenfalls durch das ganze Medium verbreitet. Dasselbe geräth also zunächst in eine fortschreitende Bewegung nach derselben Richtung wie die Stelle, an der die erste Erre-

gung stattfand. Bei jedem Zusammenstoß von zwei Molekülen wird aber, außer wenn der Stoß ein centraler ist, die Richtung der Bewegung geändert. Es wird der ursprünglich vorhandene Ueberschuß der Bewegung nach einer bestimmten Richtung durch den wiederholten Zusammenstoß von Molekülen in Bewegungen nach allen Richtungen umgesetzt werden, oder mit anderen Worten, die ursprünglich an einem Orte des gasförmigen Mediums vorhandene fortschreitende Bewegung wird sich, indem sie sich durch das ganze Medium ausbreitet, allmählich in Wärmebewegung umsetzen.

Somit enthält diese Vorstellung eine ungezwungene Erklärung einer doppelten Erscheinung. Zunächst folgt aus ihr die Existenz der inneren Reibung der Gase. Denn mit diesem Namen bezeichnet man die Eigenschaft der tropfbar und elastisch flüssigen Körper, eine Bewegung welche irgendwo in ihrem Inneren erregt wird, an die benachbarten Orte des Mediums zu übertragen. Eine solche Uebertragung von Bewegung von einer Stelle des Mediums an eine andere haben wir soeben als nothwendige Folge der gemachten Annahme erkannt.

Aus dieser Annahme folgt aber zweitens, daß eine an irgend einer Stelle des gasförmigen Mediums erregte fortschreitende Bewegung der dort befindlichen Masse allmählich durch die Molecularstöße in Wärmebewegung umgesetzt werden muß, welche sich durch das ganze Medium ausbreitet. Diefes aber ist nur ein Ausdruck der beobachteten Thatsache, daß durch die innere Reibung die Bewegung allmählich vernichtet und in Wärme umgesetzt wird.

Die Hypothese der tumultuarischen Molecularbewegung liefert so die Erklärung von Thatsachen, über welche die Hypothese der molecularen Anziehung und Abstofsung keine Rechenschaft zu geben vermag.

Nach dieser Analyse des Vorgangs besteht die innere Reibung aus zwei verschiedenen zusammen auftretenden Erscheinungen, Uebertragung von Geschwindigkeit von Schicht zu Schicht und Umsetzung der Bewegung in Wärme. Beide

Ers
der
best
ode
umg
nan
nen
ver
ein
dion
gan
lieg
der
aus
küh
in
mit
erhä
Häl
und
liche
getü
Ebe
weit
schw
eine
Ueb
über
gese
getü
eben
Häl
ten
eine
Bew

Erscheinungen lassen sich in der Betrachtung von einander sondern, wenn es nur darauf ankommt, entweder zu bestimmen, wie die Bewegung sich über das Gas ausbreitet, oder zu berechnen, wie viel lebendige Kraft in Wärme umgesetzt worden ist. Es kommt hier nur auf die erstgenannte Frage an. Dadurch läßt sich ein Vortheil gewinnen, der die Betrachtung Maxwell's nicht unbeträchtlich vereinfacht.

Um die Reibung zu bestimmen, welche auf einer durch ein Gas gelegten Ebene von der einen Hälfte dieses Mediums auf die andere ausgeübt wird, theilt Maxwell das ganze Medium in Schichten, welche dieser Ebene parallel liegen. Er bestimmt die Anzahl und die Geschwindigkeit der Theilchen, welche vermöge ihrer Molecularbewegung aus einer beliebigen Schicht der einen Hälfte in eine willkürlich angenommene der andern Hälfte gelangen und in dieser mit Theilchen dieser Schicht zusammenstoßen, mit welchen sie ihre Geschwindigkeiten austauschen. So erhält Maxwell die Wirkung einer Schicht der einen Hälfte auf eine Schicht der anderen Hälfte des Mediums, und dieser Ausdruck liefert nach Integration über sämtliche Schichten beider Hälften den totalen Werth der ausgeübten Reibung.

Nun aber ist zur Berechnung der auf der trennenden Ebene ausgeübten Reibung nicht nöthig, die Analyse so weit zu treiben. Es genügt vielmehr die Anzahl und Geschwindigkeit der Theilchen zu berechnen, welche von der einen und der andern Seite her jene Ebene passiren. Der Ueberschufs der durch diese Theilchen von der einen Seite übertragenen Bewegungsquantität über die in der entgegengesetzten Richtung übergeführte ist dann sofort die ausgeübte Reibung. Denn indem ein Theilchen die Gränzebene beider Hälften überschreitet, hört es auf, der ersten Hälfte anzugehören, und beginnt, ein Bestandtheil der zweiten zu werden. Mit ihm geht seine Bewegung von der einen auf die andere Hälfte über. So wird hin und her Bewegung übertragen. Die in der einen Richtung mehr

übergeführte Bewegung ist die durch Reibung übertragene. Die Gröfse dieser Bewegung mufs berechnet werden. Was aber nach dem Ueberschreiten jener Ebene aus dieser Bewegung wird, und wo die übergegangenen Theilchen auf andere stofsen, das ist ganz gleichgültig.

Um auf diese Weise die Reibung zu berechnen, mache ich einige vereinfachende Voraussetzungen. Zunächst nehme ich an, dafs das Medium durch seine ganze Ausdehnung überall gleiche Dichtigkeit und gleiche Temperatur besitze. Mit der letzteren Annahme setze ich voraus, dafs die Geschwindigkeit der molecularen Bewegung an allen Stellen des Gases gleich sey. Ausser dieser molecularen Bewegung, welche nach allen Richtungen des Raumes gleich stattfindet und daher nicht als Bewegung sondern nur als Wärme empfunden wird, kann dann noch eine eigentliche eine fortschreitende Bewegung der Schichten des Gases stattfinden. Von dieser setze ich voraus, dafs sie überall gleiche Richtung besitze, und dafs sie stetig durch den ganzen Raum des Gases vertheilt sey.

Ich fixire ein System rechtwinkliger Coordinaten x, y, z so, dafs die zweite Axe y der Richtung der Bewegung des Gases parallel läuft. Die Ebene, auf welche die gesuchte Reibung ausgeübt wird, wähle ich senkrecht gegen die Richtung der x , also parallel y und z und lege sie durch einen beliebigen Punkt des Mediums, dessen Coordinaten x, y, z seyen. Diesen Punkt betrachte ich als die Ecke eines unendlich kleinen Rechtecks in der angenommenen Ebene, dessen Kanten die Differentiale dy und dz sind, dessen Fläche also $dy dz$ ist. Ich suche die Anzahl der durch dieses kleine Rechteck hindurchtretenden Theilchen und die durch dieselben in beiden Richtungen übergeführten Bewegungsquantitäten, die ich mit Q_1 und Q_2 bezeichnen will.

Ferner nehme ich in dem Gase einen Punkt an, dessen Coordinaten x', y', z' sind, und betrachte diesen als eine Ecke eines unendlich kleinen Volumenelements mit den Kanten dx', dy', dz' . Ich bestimme die Anzahl und die Ge-

schwindigkeit derjenigen Theilchen, welche in der Zeiteinheit von dem Volumenelemente $dx' dy' dz'$ aus eine geradlinige Bahn beginnen und vermöge derselben das Flächenelement $dy dz$ durchsetzen.

Die Anzahl der Theilchen in der Einheit des Volumens sey N ; dann ist diejenige Zahl, welche sich in dem Elemente $dx' dy' dz'$ befindet,

$$N dx' dy' dz'.$$

Ist ferner T die Zeit, welche zwischen je zwei auf einander folgenden Collisionen eines Theilchens mit anderen im Mittel verfließt, so ist $\frac{1}{T}$ die Anzahl der in der Zeiteinheit von jedem Theilchen begonnenen geradlinigen Wegstücke. Die Anzahl der von N Theilchen in der Zeiteinheit begonnenen Bahnen beträgt also

$$\frac{N}{T};$$

und die von den jederzeit im Elemente $dx' dy' dz'$ enthaltenen Theilchen in der Zeiteinheit angetretenen Wege

$$\frac{N}{T} dx' dy' dz';$$

und dieß ist auch die Anzahl der Theilchen, welche in der Einheit der Zeit von dem Volumenelemente aus fortgeschleudert werden.

Die Zahl derjenigen dieser Theilchen, welche den Weg r zurücklegen, ohne auf ein andres zu stoßen, beträgt nach Clausius und Maxwell¹⁾

$$\frac{N}{T} e^{-nr} dx' dy' dz',$$

wenn zur Abkürzung

$$n = \frac{4}{3} \frac{\pi s^2}{\lambda^3}$$

gesetzt wird, wo λ den mittleren Abstand zweier benachbarten Theilchen und πs^2 den Querschnitt eines solchen Theilchens, also s den Radius desselben bezeichnet, falls es kugelförmig angenommen wird²⁾.

1) Pogg. Ann. Bd. 105, S. 248, 1858. *Phil. mag.* Bd. 19. 1860.

2) Clausius nennt s , vielleicht strenger, den Radius der Wirkungs-

Nennen wir das bis jetzt unbestimmt gelassene r die Entfernung des Punktes (xyz) von dem Punkte $(x'y'z')$, setzen also

$$r^2 = (x' - x)^2 + (y' - y)^2 + (z' - z)^2,$$

so ist die gefundene Gröfse

$$\frac{N}{T} e^{-nr} dx' dy' dz'$$

anzusehen als diejenige Anzahl, welche von dem Elemente $dx' dy' dz'$ ausführt und durch eine Kugelfläche durchtritt, in deren Mitte das Element $dx' dy' dz'$ liegt, während das Flächenelement $dy dz$ von ihr geschnitten wird. Aus dieser durch die ganze Kugelfläche austretenden Anzahl erhält man die durch das Element $dy dz$ tretende, wenn man dieselbe multiplicirt mit dem Verhältnisse der Projection des Elements auf die Kugel zu der ganzen Oberfläche der Kugel. Letztere hat die Gröfse $4\pi r^2$, und die Projection ist

$$dy dz \cos \vartheta,$$

wenn wir unter ϑ den spitzen Winkel verstehen, den die Richtung von r mit der von x bildet. Demnach ist die Anzahl derjenigen Theilchen, welche in der Zeiteinheit von dem Volumenelemente $dx' dy' dz'$ aus das Flächenelement $dy dz$ durchsetzen,

$$\frac{1}{4\pi} \frac{N}{T} e^{-nr} \cos \vartheta dy dz dx' dy' dz'.$$

Es fragt sich weiter, welche Bewegungsgröfse von dieser Anzahl Theilchen mitgeführt wird. Da die moleculare Bewegung, welche die Wärme darstellt, durch das ganze Medium gleichen Werth haben soll, so ändert deren Uebertragung nichts, und sie kann deshalb unberücksichtigt bleiben. Es kommt nur auf die fortschreitende Bewegung der Schichten an. Diese sey v an der Stelle (xyz) und v' an der Stelle $(x'y'z')$. Dann ist die von dem Volumenelemente $dx' dy' dz'$ aus in der Zeiteinheit durch das Flächenelement $dy dz$ hindurchtretende Bewegungsquantität

sphäre eines Moleküls. Bis jetzt scheint es mir aber noch nicht nöthig zu seyn, zwischen beiden Radien zu unterscheiden.

$$dQ = \frac{m}{4\pi} \frac{N}{T} v' \frac{e}{r^2} \cos \vartheta dy dz dx' dy' dz',$$

wenn m die Masse eines Theilchens ist.

Hieraus erhält man durch Integration nach x', y', z' über eine Hälfte des Mediums den ganzen Werth der von dieser Hälfte durch das Element $dy dz$ in die andere hindübergeschickten Bewegungsquantität. Nehmen wir das Medium unbegrenzt an, so ist diejenige Menge, welche in der Richtung der abnehmenden x durch $dy dz$ übertritt,

$$Q_1 = dy dz \frac{m}{4\pi} \frac{N}{T} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} v' \frac{e}{r^2} e^{-\pi r} \cos \vartheta dx' dy' dz';$$

dagegen die in der entgegengesetzten Richtung übergeführte

$$Q_2 = dy dz \frac{m}{4\pi} \frac{N}{T} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^0 v' \frac{e}{r^2} e^{-\pi r} \cos \vartheta dx' dy' dz'.$$

Die Differenz $Q_1 - Q_2$ ist die von der Seite der größeren x auf die andere ausgeübte Reibung

$$F = Q_1 - Q_2;$$

dagegen $Q_2 - Q_1$ die von der Hälfte der kleineren x ausgeübte Gegenwirkung.

Es ist oben vorausgesetzt worden, daß die Geschwindigkeit v eine stetige Function von x, y, z sey; dann ist auch v' eine stetige Function von x', y', z' , und man hat durch Entwicklung nach dem Taylor'schen Lehrsatz

$$v' = v + \frac{\partial v}{\partial x}(x' - x) + \frac{\partial v}{\partial y}(y' - y) + \frac{\partial v}{\partial z}(z' - z) + \dots$$

Durch Einsetzen dieser Reihe werden die verlangten Integrationen ausführbar.

Die Rechnung ist ohne Schwierigkeit, wenn Polarcoordinaten eingeführt werden, deren Anfangspunkt in (xyz) liegt. Dazu kann man die bereits eingeführten Größen r und ϑ benutzen und setzen

$$\pm (x' - x) = r \cos \vartheta$$

$$\pm (y' - y) = r \sin \vartheta \sin \varphi$$

$$\pm (z' - z) = r \sin \vartheta \cos \varphi,$$

wenn man die Vorzeichen so bestimmt, daß der spitze Winkel ϑ diesen Relationen genügen kann.

Durch Einführung dieser neuen Coordinaten ergibt sich

$$Q_1 = dy dz \frac{m}{4\pi} \frac{N}{T} \int_0^{2\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{\infty} v_1 e^{-nr} \cos \vartheta \sin \vartheta dr d\vartheta d\varphi$$

$$Q_2 = dy dz \frac{m}{4\pi} \frac{N}{T} \int_0^{2\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{\infty} v_2 e^{-nr} \cos \vartheta \sin \vartheta dr d\vartheta d\varphi,$$

wenn zur Abkürzung

$$v_1 = v + \left(\frac{\partial v}{\partial x} \cos \vartheta + \frac{\partial v}{\partial y} \sin \vartheta \cos \varphi + \frac{\partial v}{\partial z} \sin \vartheta \sin \varphi \right) r + \dots$$

$$v_2 = v - \left(\frac{\partial v}{\partial x} \cos \vartheta + \frac{\partial v}{\partial y} \sin \vartheta \cos \varphi + \frac{\partial v}{\partial z} \sin \vartheta \sin \varphi \right) r + \dots$$

gesetzt wird. Berücksichtigt man nun, daß v und seine Differentialquotienten von den Integrationsvariablen unabhängig sind, so erhält man durch Ausführung der Integrationen

$$Q_1 = dy dz \frac{m}{2} \frac{N}{T} \left\{ \frac{v}{2n} + \frac{1}{3n^2} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{1}{4n^2} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \dots \right\}$$

$$Q_2 = dy dz \frac{m}{2} \frac{N}{T} \left\{ \frac{v}{2n} - \frac{1}{3n^2} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{1}{4n^2} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \dots \right\}$$

und durch Subtraction dieser Ausdrücke als Werth der ausgeübten Reibung

$$F = dy dz m \frac{N}{T} \left\{ \frac{1}{3n^2} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{1}{5n^4} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \dots \right\}$$

Wir erhalten also eine Reihe, welche nach Potenzen von

$$\frac{1}{n^2} = \frac{\lambda^2}{16\pi^2 s^4}$$

fortschreitet. Ob diese Reihe convergirt, ist in dieser Form nicht einzusehen, da sowohl λ als s so kleine Größen sind, daß sie sich jeglicher Beobachtung entziehen. Der Quo-

tient steht, aber in sehr einfacher Beziehung zu der mittleren Länge des Weges, den ein Theilchen zwischen zwei Zusammenstößen durchläuft, also zu einer Gröfse, die unter gewöhnlichen Umständen nothwendig sehr klein ist. Es ist nämlich nach einer von Clausius durchgeführten Berechnung¹⁾, welche die erste bahnbrechende Leistung für Untersuchungen dieser Art war, die mittlere Weglänge eines Theilchens

$$l = \frac{3}{4} \frac{\lambda^2}{\pi a^2}.$$

Jene Reihe schreitet also nach aufsteigenden Potenzen der Weglänge fort, oder man hat auch als Ausdruck für die Reibung

$$F = dy dz m \frac{N}{T} \left\{ \frac{P}{3} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{P^2}{5} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \dots \right\}$$

Ist nun, wie es bei Gasen unter gewöhnlichen Umständen der Fall zu seyn scheint, die Länge l eine sehr kleine Gröfse, die kleiner ist als jede mikroskopisch sichtbare Entfernung, so ist es gestattet, diese Reihe nach dem ersten Gliede abzubrechen, also die Reibung zu setzen:

$$F = \frac{1}{3} m \frac{N}{T} P \frac{\partial v}{\partial x} dy dz.$$

Diese Vernachlässigung ist aber vielleicht nicht mehr gestattet, wenn das Gas sehr verdünnt ist, wodurch die Weglänge sehr vergrößert werden muß. Vielleicht ist dieß nicht ganz unerheblich für die Erklärung der eigenthümlichen Abweichungen, welche ich bei sehr geringem Drucke des Gases beobachtet habe; und ich habe daher auf diese Möglichkeit bereits oben (S. 580) angespielt; doch wiederhole ich hier, daß ich die dort gegebene Erklärung für sehr viel wahrscheinlicher halte.

Sehen wir von so extremen Ausnahmefällen ab, so ist der abgekürzte Ausdruck

$$F = \frac{1}{3} m \frac{N}{T} P \frac{\partial v}{\partial x} dy dz$$

als der richtige Ausdruck der durch die Reibung auf das

1) Pogg. Ann. Bd. 105, S. 249. 1858.

tiem
ren
Zus
ter
ist
nun
ters
The

den
die

den
Gr
fer
GL

ge
W
di
th
D
an
w
fü

d
a

tient steht aber in sehr einfacher Beziehung zu der mittleren Länge des Weges, den ein Theilchen zwischen zwei Zusammenstößen durchläuft, also zu einer Gröfse, die unter gewöhnlichen Umständen nothwendig sehr klein ist. Es ist nämlich nach einer von Clausius durchgeführten Berechnung¹⁾, welche die erste bahnbrechende Leistung für Untersuchungen dieser Art war, die mittlere Weglänge eines Theilchens

$$l = \frac{3}{4} \frac{\lambda^2}{\pi s^2}.$$

Jene Reihe schreitet also nach aufsteigenden Potenzen der Weglänge fort, oder man hat auch als Ausdruck für die Reibung

$$F = dy dz m \frac{N}{T} \left\{ \frac{r}{3} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{r^2}{5} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \dots \right\}$$

Ist nun, wie es bei Gasen unter gewöhnlichen Umständen der Fall zu seyn scheint, die Länge l eine sehr kleine Gröfse, die kleiner ist als jede mikroskopisch sichtbare Entfernung, so ist es gestattet, diese Reihe nach dem ersten Gliede abzubrechen, also die Reibung zu setzen:

$$F = \frac{1}{3} m \frac{N}{T} r^2 \frac{\partial v}{\partial x} dy dz.$$

Diese Vernachlässigung ist aber vielleicht nicht mehr gestattet, wenn das Gas sehr verdünnt ist, wodurch die Weglänge sehr vergrößert werden muß. Vielleicht ist dieß nicht ganz unerheblich für die Erklärung der eigenthümlichen Abweichungen, welche ich bei sehr geringem Drucke des Gases beobachtet habe; und ich habe daher auf diese Möglichkeit bereits oben (S. 580) angespielt; doch wiederhole ich hier, dafs ich die dort gegebene Erklärung für sehr viel wahrscheinlicher halte.

Sehen wir von so extremen Ausnahmefällen ab, so ist der abgekürzte Ausdruck

$$F = \frac{1}{3} m \frac{N}{T} r^2 \frac{\partial v}{\partial x} dy dz$$

als der richtige Ausdruck der durch die Reibung auf das

1) Pogg. Ann. Bd. 105, S. 249. 1858.

Flächenelement $dy dz$ ausgeübten Kraft anzusehen. Dieselbe ist also außer der Größe des Flächenelementes dem Differentialquotienten der Geschwindigkeit nach der Normale dieses Flächenelementes proportional. Das aber ist die Newton'sche Hypothese über die Natur der Reibung. Nach dieser Hypothese, auf welcher die ganze Theorie beruht, ist die Reibung ausgedrückt durch

$$F = \eta \frac{\partial v}{\partial x} dy dz,$$

worin η der Reibungscoefficient ist.

Für diese Größe liefert also die Hypothese der molecularen Stöße den theoretischen Ausdruck

$$\eta = \frac{1}{3} m \frac{N}{T} l^2.$$

Dieser Ausdruck läßt sich noch auf eine einfachere und übersichtlichere Gestalt bringen, wenn man die zwischen l und T stattfindende Beziehung beachtet. Das Verhältniß dieser beiden Größen ist die mittlere Geschwindigkeit eines Theilchens, die ich u nennen will,

$$u = \frac{l}{T}.$$

Die Geschwindigkeit eines Theilchens besteht aus zwei Theilen, aus der fortschreitenden Geschwindigkeit v und aus der molecularen Geschwindigkeit, deren lebendige Kraft die Wärme ist. Die letztere ist meistens sehr viel größer als die erstere, so daß wir v gegen die andere Componente vernachlässigen, mithin u ohne erheblichen Fehler als die Geschwindigkeit der Wärmebewegung ansehen können.

Durch Einführung dieser Größe wird der Reibungscoefficient des Gases

$$\eta = \frac{1}{3} m u N l;$$

und dieser Ausdruck wird noch einfacher durch Benutzung der Dichtigkeit ρ des Gases oder der Masse, welche in der Einheit des Volumens enthalten ist; nach dieser Definition ist

$$\rho = N m;$$

folglich wird der Reibungscoefficient

$$\eta = \frac{1}{3} \rho u l^1),$$

wodurch derselbe sehr einfach defintirt ist.

Die Eigenschaften dieser Gröfse lassen sich aber besser durch eine andere Transformation übersehen. Es ist nämlich, da N die Anzahl der in der Volumeneinheit enthaltenen Theilchen und λ^3 das Volumen eines kleinen Würfels ist, in welchem sich nur ein einziges Theilchen befindet,

$$N \lambda^3 = 1.$$

Benutzt man diese Relation und führt aus der oben angegebenen Formel den Werth der mittleren Weglänge ein, so wird der Reibungscoefficient

$$\eta = \frac{1}{4} \frac{m u}{\pi \lambda^2}.$$

In dieser Form läßt der Ausdruck übersehen, daß er, wie Maxwell³⁾ schon gezeigt hat, von der Dichtigkeit des Gases unabhängig ist, da λ aus ihm verschwunden ist. Er ist aber proportional der Moleculargeschwindigkeit u ⁴⁾, also der Quadratwurzel aus der sogenannten absoluten Temperatur oder proportional der Gröfse

$$\sqrt{1 + \alpha \vartheta} \quad \text{oder} \quad 1 + \frac{1}{2} \alpha \vartheta$$

in der ϑ die Temperatur, α der Ausdehnungscoefficient des Gases ist.

- 1) Maxwell (*Phil. mag. Vol. 19, pag. 32. 1860*) hat diese Formel benutzt, die mittlere Weglänge eines Luftmoleküls zu berechnen. Setze ich $\eta = 0,0003$ in Centimetern, ferner für $0^\circ 770^\circ \rho = 1$ und $u = 480$ (Clausius, *Pogg. Ann. Bd. 100, S. 377*), so finde ich $l = 0,00014$ Millimeter, ungefähr mit dem etwas kleineren Maxwell'schen Werthe ($\frac{1}{71600}$) übereinstimmend. Die Zeit T wird 0,0003 Milliontel Secunde, so daß jedes Theilchen in einer Secunde etwa 3000 Millionen mal mit einem anderen zusammenstoßen würde.
- 2) Die von Maxwell aufgestellte Formel unterscheidet sich von dieser nur durch den numerischen Coefficienten. Diese Verschiedenheit beruht auf der des eingeführten Werths der mittleren Weglänge. (s. Clausius, *phil. mag. V. 19, p. 434.*)
- 3) A. a. O. S. 32.
- 4) Stefan, *Wiener Sitzungsber. Bd. 46. S. 12, 1864.*

Diese Folgerungen haben sich durch die unternommene experimentelle Prüfung als angenähert richtig bewährt. Mehr als eine angenäherte Bestätigung war auch nicht zu erwarten, da die durchgeführte theoretische Betrachtung nur für ideelle Gase streng richtig ist, d. h. für solche Medien, welche außer der Trägheit und Schwere nur geradlinige Bewegung besitzen. Von einem solchen Medium ist ein natürliches Gas ohne Zweifel beträchtlich verschieden; jedenfalls ziehen sich seine Theilchen gegenseitig an ¹⁾, dadurch werden ihre Bahnlinien gekrümmt, und außerdem haben sie neben ihrer fortschreitenden vermuthlich eine rotirende Bewegung ²⁾. Diese und vielleicht noch andere Umstände werden die Eigenschaften wesentlich abändern, so daß eine größere Uebereinstimmung der Beobachtung mit den Forderungen der Theorie, als sie beobachtet worden ist, nicht zu erwarten war. So hoffe ich denn, daß meine Beobachtungen zur Beurtheilung der Ansichten, die mit Recht als die Clausius'schen bezeichnet werden, nicht ganz ohne Werth erscheinen mögen.

Indem ich zum Schlusse an die in der Einleitung dieser Abhandlung besprochenen Fragen wieder anknüpfe, stelle ich die Resultate der Untersuchung in folgenden Sätzen kurz zusammen.

Der Werth der Constante der inneren Reibung der atmosphärischen Luft beträgt in runder Zahl 0,0003, bezogen auf Centimeter und Secunden als Einheiten; sie ist etwa 40mal kleiner als die des Wassers bei 20° C. Eine Einsicht in die Bedeutung dieser Zahl gewährt folgende Vorstellung. Die Luft bewege sich über dem Erdboden in horizontalen Schichten mit so vertheilter Geschwindigkeit, daß jede Schicht in einer Secunde einen ihrer Höhe über dem Boden gleichen Weg zurücklegt. Dann erfährt jede Luftschicht von der über ihr fließenden in einer Se-

1) Thomson und Joule, *Phil. Transact.* 1853 v. 54.

2) Clausius, *Pogg. Ann.* Bd. 100, S. 354, 1857.

cunde eine Reibung, welche gleich dem Drucke von 0,0003 Mgrm. auf die Fläche eines Quadratcentimeters ist ¹⁾.

Mit abnehmendem Drucke der Luft verringert sich der Werth der Reibungsconstante in geringerem Grade als die Dichtigkeit. Aenderung der Temperatur hat sehr unbedeutenden Einfluss auf die Reibungsconstante. Diese Erfahrungen sind mit den Anforderungen einer Theorie in Uebereinstimmung, welche auf der Ansicht beruht, dass die Reibung in einer Bewegung der Luftmoleküle und in einer durch dieselbe vermittelten Uebertragung der Geschwindigkeit besteht.

In sehr verdünnter Luft zeigte sich ein beträchtlicher Einfluss der Luftreibung; derselbe hat seinen Grund vermuthlich in der hemmenden Wirkung der Wandungen des abgeschlossenen Raumes, welche sich um so weiter durch die Luft ausbreitet, je dünner diese ist.

Wegen dieser Eigenschaft der verdünnten Luft ist die von Sabine und Baily angewandte Methode zur Bestimmung der Reduction eines Pendels auf den luftleeren Raum durch Beobachtung der Schwingungen im luftverdünnten Raume zu verwerfen. Von den vorhandenen Bestimmungen des Betrages dieser Reduction ist die von Bessel ausgeführte die zuverlässigste. Dieselbe bestätigt die Richtigkeit des von mir beobachteten Werthes der Luftreibung.

Breslau, im April 1865.

1) In einer früheren Abhandlung (Pogg. Ann. Bd. 113, S. 383 u. 384) ist fehlerhaft Gramm statt Milligramm gesetzt worden, da eine Division durch die Schwerkraft $g =$ ungefähr 1000^{cm} unterblieben ist. Daher folgende Fehler, welche ich hier zu verbessern Gelegenheit nehme.

S. 384 Z. 1 v. o. lies: nahezu in Milligrammen statt: in Grammen.

S. 385 Z. 12 und 8 v. u. lies: 7 Pfund statt: 70 Centner.

Z. 2 v. u. lies: 1,05 statt: 1050.

III. Die schwarzen Linien und Ablösungen in den Meteoriten; von Freiherrn von Reichenbach.

(Schluss von S. 441.)

Stellen wir nun das in der zweiten Abtheilung Erörterte zusammen:

Außer den schwarzen Linien, Tafeln und Ablösungen der ersten Abtheilung giebt es in den Steinmeteoriten noch eine zweite Art von schwärzlichen Linien, Tafeln und Ablösungen von wesentlich verschiedener Abkunft und Beschaffenheit. Bei dieser letztern, die wir hier soeben betrachtet haben, finden wir:

- A. Hellgrauliche, matte, überaus zarte, schwach gestreifte Ablösungen, noch ohne deutlich sichtbare Linien, (*Stannern*).
- B. Graubräunliche, matte, stellenweise etwas glänzende, deutlich sichtbare Ablösungen, ohne Metallschimmer; (*Doroninsk*).
- C. Erdkobaltbraune, matte, sich breitende, ins Seiten-Gestein einziehende, sich wieder zusammenziehende, in Linien sich zertheilende Ablösungen; (*Charsonville*).
- D. Marmorische; (*Aigle*).
- E. Grobsfleckige; (*Blanskow*).
- F. Furchig gestreifte; (*Atacama*).
- G. Eisengraue mit Metallschimmer; (*Limerik*).
- H. Eisenlamellenführende; (*Schönenberg*).
- J. Ablösungen in Eisenmeteoriten; (*Karthago*).
- K. Schwarze Linien älterer Herkunft in breccienartigen Trümmereinschlüssen der Steinmeteoriten selbständig; (*Dhurnsala*).
- L. Tellurische schwarze Linien brechen die Einschlüsse entzwei, kosmische weichen ihnen aus und gehen neben ihnen vorbei.

Somit sind wir auf den Standpunkt gelangt, von wo aus wir die Thatsachen einigermaassen überschauen und zu Urtheilen verbinden können. — Wir sehen, daß wir es von den schwachen Anflügen in *Langres* und *Stannern* an bis herauf zu den Eisenlamellen zeigenden Ablösungen von *Agen* und *Schönenberg* nur mit einer und derselben Erscheinung zu thun haben, gedehnt in eine lange Reihe von Uebergangsgliedern. Die zarten Andeutungen bei *Langres* (*A*) zeigen nicht viel mehr, als die ersten kaum wahrnehmbaren Anfänge einer Neigung zu *innern Ablösungen* in den Meteoriten, ohne die Bedingung eines erkennbaren äusseren Anlasses zu einem Risse von Aussen nach Innen. Ebenso wenig ist ein innerer zu erkennen, weil eine deutlich abgelagerte Zwischensubstanz mit Sicherheit noch nicht wahrnehmbar ist. Alles was man bis hierher zu erkennen vermag, ist ein kaum sichtbarer Hauch von schmutziggrauem Ansehen, so daß man z. B. bei *Langres* einen Augenblick im Zweifel seyn könnte, ob nicht in der That etwas Schmutziges zufällig auf die Trennungsflächen gerathen sey.

Wir müssen also an die zweite Gruppe (*B*) uns wenden und zusehen, ob verwandte Erscheinungen durch stufenweise Abänderungen zu gegenseitiger Erklärung sich herleihen. In der That kommen hier Ablösungen von ähnlicher Art, aber deutlicher und stärker ausgeprägt, zum Vorschein, sie sind jetzt gefärbt, grau bräunlich, matt, einzelne theilweise glänzend, sie geben im Querbruche sichtbare dunkle Linien, es hat sich also irgend etwas blattartig, gangartig in den Körper der Meteoriten eingelagert. Deutlicher noch spricht sich dieß bei den erdkobaltbraunen (*C*) breiteren Bildungen aus.

Weiter finden wir die Linien, welche das Ausgehende der Blätter und Gänge sind, unter sich anastomosiren (*D*); wir finden sie, wo sie in gröfserer Menge vorkommen, sich schaaren (*E*) oder sich dichotom zergabeln, und dieß nicht selten bis ins Kleine und seltsam verwirrt. Dieß schließt die Möglichkeit einer Entstehung durch äussere Gewalt aus, die immer bestimmte Richtung hat.

In den folgenden Gruppen (F) verlieren wir beinahe die Linien und Ablösungen aus dem Gesichtsfelde, sie breiten sich, werden marmorisch, dann fleckig (G), vermengen sich mit dem Seitengestein, verschmelzen sich mit seiner Substanz und stellen nun gemischte Körper dar, die aus Stein und Ablösungssubstanz innig zusammengesetzt sind. Diefs weist uns hin auf einen gewissen Grad von *Gleichzeitigkeit* in der Entstehung des Meteoriten und seiner Linien- und Ablösungssubstanz. So innig, wie in *Charsonville*, *Chantonmay* und in *Mainz* konnten sie sich nur dann mit dem Gestein ihres Meteoriten verbinden, wenn beide zu gleicher Zeit miteinander entstanden. Den sprechendsten Beleg hierfür liefert der Umstand, daß in diesen gemengten Theilen des Steines *nur ungefähr halb so viel Gediogeneisen* sich vorhanden zeigt, als in den reinen und mit der Ablösungssubstanz unvermengten Antheilen desselben. Jene wirkte als Verdünnungsmittel auf die Gemengtheile des Meteoriten, und so wurde das Eisen bis auf die Hälfte dilatirt. Diefs war nur unter der Bedingung möglich, daß die Bildung des Steines und die der Ablösungssubstanz *örtlich und zeitlich zugleich* vor sich ging.

Immer mehr Deutlichkeit gewinnen sehen wir die Linien und Ablösungen in der nächsten Gruppe (H), wo sie sich streifig und gefurcht herausbilden, immer noch ohne Metallschimmer; dann in der nächsten (J), wo sie matt schwarz in zunehmender glanzloser Intensität bestehen. Nun gesellt sich (K) grauer metallischer Schimmer hinzu; Linien und Ablösungen nehmen *graphitisches Aussehen* an, färben aber nicht ab. Einige Splitter davon, die ich von den starken Ablösungen von *Lizna* ablöste, wurden schnell *vom Magnete an sich gerissen und waren Eisen*. Das Siegel aber auf alle diese Hergänge drückt das Aufireten blattförmigen Eisens (L) in den Linien und Ablösungen von *Schönenberg* u. a., *meteoritisches Eisenblech* möchte man es nennen. Hier schließt sich bekennt die Natur offen, was sie mit allen diesen Anflügen, schwarzen und grauen, matten und schimmernden Gangbildungen beabsichtigt hat: *Ab-*

lagerung von Eisen in einer andern als sonst in den Meteoriten — in einer blätterigen Form.

All dieß zusammen führt uns zu der Erkenntniß, daß die Natur sich zweier verschiedener Wege bedient, um Eisen auf die Meteoriten abzulagern: *Einmal den der regelmäßigen Krystallisation*, auf welchem sie hauptsächlich Balkeneisen (Kamazit) und in manchen Fällen selbst die ganze Trias nebst Glanzeisen, (Lamprit) ausbildet, z. B. in *Hainholz*, in *Blansko*, in *Tula*; *das Anderemal den der Schichtung*, mittelst deren sie das Eisen in seinen Schuppen bis zu blechähnlichen Lamellen ausgebildet in die Meteorsteine einlagert. Der letztere ist es dann, auf welchem sie die schwarzen Linien und Ablösungen dieser zweiten Kategorie zu Stande bringt.

Der *Eisenschimmer* auf den Ablösungen mancher Meteorsteine hat vollkommen das Aussehen von Graphit. Aber außerdem, daß er nicht abfärbt und daß davon abgelöste Blättchen gierig vom Magnet aufgegriffen werden, müßte man, wenn er vorhanden wäre, schon längst in den Analysen reichlich Graphit gefunden haben, z. B. *Laugier in Liana*; er hat aber gar keine in seiner Analyse angegeben, weil in dem reichlichen Eisenschimmer dieses Meteoriten kein Graphit zugegen ist. Zwar hat Hr. Wöhler in dem Meteoriten von *Madaras* 0,25, in dem von *Bremervörde* 0,14¹⁾ und in dem von *Kakowa* 0,15²⁾ Graphit gefunden; diese Mengen sind aber bei weitem zu gering, um den Gehalt an Eisenschimmer in diesen Steinen ausdrücken zu können.

Wir sehen, daß der Inhalt, die Füllsubstanz der Linien, Anflüge, Ablösungen in der Reihe der Meteoriten vom schmutziggrauen, durchs rothbraune, dann schwarze ins grau-eisenschimmerige verläuft und sofort mit metallischem Eisen endigt.

Diesem Farbenverlaufe entspricht, bis auf ein gewisses

1) Diese Annal. Bd. 98, S. 619

2) Ann. der Chem. und Pharm. Bd 110, S. 123.

Maafs, der Zustand des Eisens, wie wir es auf den Ablösungen finden. Von dem ersten schmutzig undeutlichen Anfluge schreiten sie zu grau-braunen und schwarz-braunen Ueberzügen fort, in denen deutlich Eisenoxyd reichlich vorhanden und häufig mit graulicher und schwärzlicher Substanz gemengt ist. Die braune Farbe rührt von Rost her, der sich später an der Luft erzeugte. *Barbotan* giebt in manchen Exemplaren ein gutes Beispiel. Hier ist das Eisen in der Länge der Zeit rostig geworden. Das Graue sind noch nicht in Rost übergegangene *Eisenschuppenreste*. Das *Schwarze* ist in seiner Substanz noch fraglich. Seinen äusseren Beschaffenheiten nach ist es kohlgiger Natur, ist aber der geringen Menge seines Vorkommens wegen noch nicht zureichend untersucht. Aus diesen drei Gemengtheilen, dem Eisenschimmer, den Eisenlamellen und den russig kohlgigen ist in dieser zweiten Abtheilung die Füllsubstanz der Linien und Ablösungen in der Regel zusammengesetzt. Eine umsichtige analytische Arbeit darüber wäre sehr zu wünschen. Verfolgen wir sie durch alle Abstufungen, die ich dargelegt habe, so finden wir immer dieselben Gemengtheile, nur in andern Mengenverhältnissen. Sie nehmen zu an schwarzer Substanz, werden dunkler und dann ganz schwarz mit darin zerstreuten feinsten Schüppchen von Eisen, sind aber noch ohne Glanz. Später wird Eisenschimmer sichtbar, das Schwarz tritt zurück; der Eisenschimmer mehrt sich und Linien und Ablösungen gewinnen graphitiges Ansehen. Zuletzt geht dieß in zusammenhängendes Eisen, in ein dünnes Blech über, das jedoch, soweit ich es in vielen Exemplaren zu München, Paris und im britischen Museum zu verfolgen im Stande war, immer noch zu beiden Seiten von gemengter brauner Füllsubstanz begleitet ist.

Die Absicht der Natur ging also offenbar dahin, Eisen in den Meteorsteinen niederzulegen. Sie that es in der Form feiner Schüppchen, die sie mehr und minder stufenweise zu Blättern, zuletzt zu gröfseren Lamellen wie Blech vereinigte. Damit erreichte sie ihren nächsten Zweck. Was

in langer Zeit durch Verrostung an ihr geändert worden, ist terrestrisches nachträgliches Angehängte und hat mit der meteoritischen Entwicklung des Steines nichts gemein; es hat sie nur verunstaltet, ist tertiär und gehört in die Kategorie der Rostrinde.

Aus der Vergleichung aller Thatsachen der ersten und der zweiten Abtheilung gegenwärtiger Auseinandersetzungen geht nun der schon oben berührte Hauptunterschied im Herkommen dieser schwarzen Linien und Ablösungen hervor: Die Erstere, welche Riffsausfüllungen mit geschmolzener Rindensubstanz sind, sind Erzeugnisse des feurigen Durchganges durch die Atmosphäre, also Einwirkungen unseres Planeten auf die Meteoriten angehörig. Die Zweiten welche aus Auflagerung auf die werdenden Meteoriten bei ihrer Entstehung sich herleiten, gehören der Bildungsthätigkeit der Welträume an. Jene sind also *tellurische*, diese aber *kosmische* Gebilde und nach diesem Unterschiede ihres Herkommens, möchte ich sie auch immerhin benennen, wie diess schon oben geschehen.

Hierbei darf nicht übergangen werden, daß nicht selten auf einem und demselben Meteoriten neben einander tellurische und kosmische Linien und Ablösungen zugleich vorkommen. Die letzteren fallen in die Geschichte der ersten Entstehung eines Meteoriten, die Ersteren in die seines Schicksals beim Durchgange durch den Dunstkreis.

Die Streifen und Furchen, welche sich auf den Ablösungen zeigen und die parallel miteinander über die entblößten Steinflächen beider Theilstücke des Steines hinlaufen, erscheinen auf den ersten Anblick sehr räthselhaft. Die Erklärung wird sich aber ergeben, wenn man auf die XI. dieser Abhandlungen (Ann. Bd. 108, S. 291) zurückblicken will. Dort ist dargethan, daß die Apposition der Substanz bei der Bildung der Meteorsteine nach der Regel der Schichtung vor sich gegangen ist. Die Stratification erstreckt sich nun nicht bloß über die feineren und kry-

stallinischen Bestandtheile, sondern sie hat auch die Kugeln und alle freien Körperchen, die sich dem Hauptkörper anschlossen, unter ihr Gebot genommen. In Folge dessen sieht man diese Dinge alle auf dem Querbruche in Reihen geordnet. Diese Reihen werden oft durch eine ganz seltsame Weise schon dann wahrnehmbar, wenn der Stein durch viele schmutzige Hände gegangen ist, z. B. beim ersten Funde, wo Bauern ihn zerschlagen und von einer fettigen Hand in die andere gegeben haben. Da werden alle kleinen Protuberanzen schmierig und schmutzig, während die Concavitäten verhältnißmäßig rein bleiben. Fürs Auge ergeben sich dann parallele Reihen beschmutzter höherer Punkte zwischen parallelen Reihen lichterer und reinerer tieferer Punkte. So erkennt man bei einiger Aufmerksamkeit und Uebung nicht selten schon auf höchst empirischem Wege das schichtige Gefüge der Steinmeteoriten, z. B. auf *Timochin*, *Borkut*, *Richmond*, *Clarac*, *Benares*, *Meno*. Dabei müssen wir Weiteres annehmen, daß dieselben in ihrem primitiven Zustande, während nämlich Stoff auf Stoff sich ihnen auflagerte, auf ihren im Werden begriffenen Oberflächen rauher gewesen seyn werden, als sie auf dem Bruche erscheinen, den wir jetzt quer auf ihre Schichtung bewirken; die gröberen in den Stein eingeschlossenen Partikelchen müssen also noch stärker über die verbindende Substanz hervorgeragt, also stärker ausgesprochene Reihen gebildet haben, als wir sie nachher beim Bruche hervortreten machen können. Faßt man diese Verhältnisse wohl ins Auge und denkt man sich nun die Auflagerung einer Wolke von feinen Schüppchen über diese raue Fläche, so wird man sogleich die Vorstellung von Linien und Furchen gewinnen, wie wir sie thatsächlich auf den Meteoriten da vor uns sehen, wo sie in der Richtung einer schwarzen Linie voneinander gebrochen werden. Die sich anlegenden Schüppchen gleichen hoch und nieder einigermassen aus, und so entstehen die scheinbaren Furchen und Streifen; sie sind nicht durch Reibungen entstanden, wie es auf den ersten Anblick täuschend scheint, sondern

sie sind eine Folge der Schichtung der ungleichförmigen Substanzen, die sich hier zu einem festen unebenen Körper zusammenthaten. Auf das Schüppchenstrat unmittelbar legten sich dann wieder neue Meteoritsubstanzstraten und schlossen es in der Weise zwischen sie ein, daß das feine Blatt dazwischen zu liegen kam, das im Querbruche dann als schwarze Linie sich darstellte. Während so die Erscheinungen eine um die andere der Supposition entsprechen, rechtfertigen sie die zu Grunde gelegte Hypothese und erheben sie mit den daraus fließenden Folgerungen auf die Stufe der Theorie.

Die eisenschimmernden Ablosungen finden wir am meisten und am ausgesprochensten da, wo die Meteorsteine die größere Festigkeit und Härte besitzen, z. B. in *Limerik, Tipperari, Blansko, Aigle, Doroninsk, Seres, Barbotan, Madaras, Nulles, Macerata, Okniny, Cabarras, Tabor, Lizna*. Dagegen sind die wenigsten, am Ende fast gar keine vorhanden auf den weichen, schwächer zusammenhaltenden zerbrechlicheren Meteorsteinen, wie in *Stannern, Uden, Schalka Aumieres, Constantinopel, Jonzac, Mauerkirchen, Langres, Manegaon, Kaba, Alais, Hartford, Kakowa, Clarac, Utrecht, Nashville, Oesel, Zaborziza, Czartoryia, Charkof, Castine, Milena, Jowa, Chantacapur, Poliz, Favars, Gent, Cereseto, Renard, Forsyth, New Concord*. Man sieht, daß sich auf die Seite der Eisenschimmerigen lauter dunkelgraue Meteoriten stellen, auf die Seite derer, welche wenig oder gar keine eisenschimmerige Ablosungen machen, fast lauter weißliche treten.

Ein drittes Moment, das hier in Betracht kommt, besteht noch darin, daß der Eisenschimmer vorzugsweise da vorkommt, wo der reichere Eisengehalt sich befindet; daß dagegen da, wo das Eisen in geringerer Menge vorhanden ist, der Eisenschimmer fast fehlt.

Es gehören also die *terrestrischen Linien* und Ablosungen mehr den weicheren, zerbrechlicheren, weißeren, an

Eisengehalt ärmeren Meteoriten, die *kosmischen Linien* mehr den härteren, festern, dunklern, an Eisen reichern an.

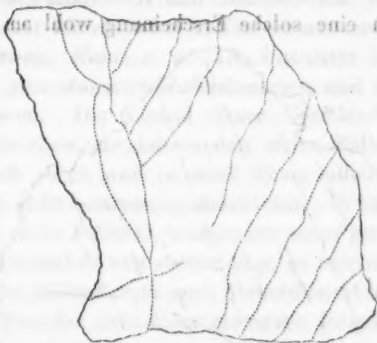
In Betracht der Richtung findet man die kosmischen Linien und Ablösungen ohne feste Regel. Sie sind gekrümmt gebogen, wellig, unordentlich nach allen Richtungen gebeugt. Sie schmiegen sich unbedingt ihrer Unterlage an, so wie ihre Auflage sich wieder ihnen anschmiegt. Davon geben *Costarica* in der Ecole des Mines und in meiner Sammlung, *Dhurmsala* und einige andere im britischen Museum, dann *Limerik*, *Tipperari*, *Lizna*, *Gütersloh*, *Aigle* und *Blansko* in meiner Sammlung die sprechendsten Beispiele. Aber auch unter sich besitzen diese Eisenschuppenflächen auf den verschiedenen Steinen keine Richtungsregel. Sie sind unter allen Winkeln gegen einander geneigt, kreuzen sich nicht selten bis zum Senkrechten auf einander, z. B. auf *Dhurmsala*, wo ich das eine Längenende des fast flüssigen Steines geradezu truncat senkrecht gegen die Mehrzahl der Ablösungsflächen abgeschnitten fand. Die Anordnung der sich schneidenden Ablösungsflächen wird endlich in einigen Meteorsteinen so chaotisch, daß man auf dem unebenen Bruche fast nichts mehr sieht, als lauter sich drängende Ablösungen. So namentlich auf dem öfterwähnten *Dhurmsala*, aber auch auf *Lizna*, *Limerik*, *Akbarpur*, *Tipperari*, einigen Bruchstücken von *Atacama*, auf einem *Ensisheim* im Jardin des Plantes zu Paris und einem solchen in meiner Sammlung. Manche ähneln gewissen Ablösungen, die man auf Stufen von Quecksilberlebererz von *Idria* sieht; auch an den blauen und rothen Thonen in der Keuperformation kommt eine äußerlich ähnliche Erscheinung nicht selten vor.

Dagegen ist die Bildung dieser eisenschimmrigen und eisernen Blätter sichtlich an eine gewisse *Periodicität* gebunden gewesen. Dies beweist ihr abwechselndes Auftreten mit der Steinsubstanz der Meteoriten. Am schönsten ist dieses von der Natur ausgesprochen in dem für

unse
nehb
Jahr
Anze
einen
richt
Stre
eisen
stret
Dür
bald
setze
von
cave
Hr.
merk
ner
finde
als P
uner
stehe
ist.

Sie
auf
Po

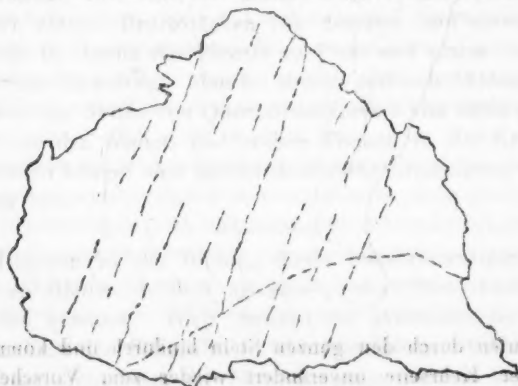
unsere Untersuchungen unschätzbare Meteoriten von *Schönenberg* in der Sammlung der Akademie zu München. Im Jahre 1847 lieferte Hr. Schafhäütl in den »Gelehrten Anzeigen der bayerischen Akademie der Wissenschaften« einen durch die Nummern 69 bis 72 laufenden langen Bericht darüber. Darin ist schon angegeben, daß »sieben Streifen von silberweißem, weichen, leicht rostenden Nickелеisen durch die ganze Masse des Meteorsteines sich erstrecken, und sich zu einem Korne von 2 bis 3 Linien Durchmesser vereinigen. Diese Schnüre seyen bald $\frac{1}{2}$, bald $\frac{1}{3}$, bald $\frac{1}{4}$ Zoll von einander entfernt. Auf diese Schnüre setze beinahe rechtwinklig eine andere Schnur oder Ebene von Nickелеisen herab, welche man durch die ganze concave Basis verfolgen könne. — Diese Metallschnüre« fährt Hr. Schafhäütl fort, »bilden das einzige Unterscheidungsmerkmal zwischen dem *Schönenberger* und dem *Mauerkirchner* Meteoriten, in welchem letzterem sich keine solche vorfinden«. Da die Erscheinungen auf *Schönenberg* bis jetzt als Prototyp für ihre Gattung dastehen, so halte ich es für unerlässlich eine Skizze davon mitzuthemen die hier in bestehender Figur in ein Drittel natürlicher Gröfse gegeben ist. Die punktirten Linien bezeichnen die Eisenblätter.



Sie laufen durch den ganzen Stein hindurch und kommen auf der Kehrseite unverändert wieder zum Vorscheine,

Stellenweise verdicken sie sich etwas, stellenweise werden sie sehr dünn, stellenweise schwinden sie so sehr, daß nur noch ein gelber Rostbesteg übrig bleibt. Auf einem Bruche heisst eine solche Linie von ungemeiner Feinheit aus und geht an der Luft in Rost über. Immer aber geht die *Lagerung der Linien und Blätter deutlich parallel mit der Schichtung und dem Gestricke des ganzen Steines* und deshalb kommen auch Blätter zwischenein vor, welche senkrecht auf der Hauptrichtung stehen, immer in Uebereinstimmung mit den Gestrickrichtungen. Immer jedoch bleibt das ziemlich regelmässige Alterniren zwischen Steinsubstanz und Eisenblättern vorzugsweise bemerkenswerth. Im Durchschnitt steht ein Eisenblatt vom andern 9 Lin. Oest. (= 2 Centimeter) ab, schwankt aber entlang ein wenig hin und her. Die Zeichnung giebt davon nur ein annäherndes Bild, da man über die Form und Richtung nur dann vollständig urtheilen kann, wenn man den Stein von allen Seiten vor sich sieht. Doch zeigt sie hinreichend die Aufeinanderfolge in der Ablagerung von Steinsubstanz und Eisenblättern, und verräth durch die Gleichförmigkeit in diesen Wiederholungen die Periodicität im Hergange bei der Bildung des Steines und im Auftreten seiner Glieder, besonders der Eisenblätter.

Wo man eine solche Erscheinung wohl am wenigsten



zu fin
des I
sant
dürft
bezei
Strat
tens
lichk

zu fin
des I
sant
dürft
bezei
Strat
tens
lichk
V
wisse
achte
lager
nien
oder
von
ähnli
tensi
abge
cher
subst
derso
nehm
und
bei
gerun
ganz
kein
subst
also
Abla
größ
zeitig
wir
stern
von

zu finden hoffen sollte, das ist auf *Pallas*. Aber im Jardin des Plantes ward ich einen solchen gewahr, der zu interessant ist, als daß man eine Zeichnung davon versäumen dürfte (siehe vorhergehende Seite): Die punktirten Linien bezeichnen die Eisenblech haltigen schwarzen Linien, die Stratification derselben und die Periodicität ihres Auftretens bei der Bildung des Steines in ungewöhnlicher Deutlichkeit und Schönheit.

Wie die Ablagerung der Ausfüllungssubstanz eine gewisse veränderliche Periodicität in den Meteoriten beobachtet, so zeigt sie auch in Hinsicht auf *Intensität der Ablagerung* einen gewissen Wechsel. Wir sahen viele Linien und Ablosungen, welche sich scharf auf Papierdicke oder auf Blätter ähnlicher geringen Dicke beschränkten, von den ersten schwarzen Linien an bis herauf zu den blechähnlichen Eisenlamellen. Hier fand also eine dichte, intensiv gedrängte Ablagerung der Füllsubstanz statt, scharf abgegränzt von der Steinsubstanz des Meteoriten, in welcher sie eingeschlossen war. Bald aber sehen wir die Füllsubstanz sich in die Breite ausdehnen, mit dem Steine beiderseits sich verbindend und dieß stufenweise so überhandnehmen, daß Füllsubstanz und Steinsubstanz sich gänzlich und untrennbar mit einander in Eins zusammenmengen, wie bei *Chantonay*, *Mainz* u. a. Die Intensität in der Ablagerung hat also stufenweise abgenommen und ist am Ende ganz gesunken. Der Grund dieser Verschiedenheit kann kein anderer seyn, als daß in den ersten Fällen die Füllsubstanz sich rasch und in ihrer Phase allein abgelagert also in sich dicht zusammengedrückt hat. Wenn aber diese Ablagerung nicht subitan, sondern mit einer geringern oder größern Langsamkeit von statten ging, so lagerte sich gleichzeitig mit der Füllsubstanz auch Meteoritensubstanz ab, und wir haben nun das Bild einer geringern Intensität der Erstern vor uns, dafür eine unregelmäßige Zusammenbildung von beiden.

Was die Substanz dieser Eisenblätter anlangt, so nennt sie Schafhäütl bei *Schönenberg* »Nickeleisen«. Allein er liefert keine Analyse, welche diese Benennung rechtfertigte. Es wäre sehr zu wünschen, daß diese Eisenlamellen genau analysirt würden. Ich konnte dieß auf der Reise nicht versuchen und von dem Steine selbst besitze ich so viel wie nichts. Wollte Hr. von Kobell, unter dessen Obhut sich der Meteorit von *Schönenberg* befindet, von diesen Blättchen etwas rein heraussondern und uns eine Analyse davon geben, so würde er eine Arbeit vollbringen, für welche wir ihm großen Dank wissen müßten. Dabei wäre noch wünschenswerth, daß die Eisenbleche auf dem Bruche unters Mikroskop gebracht würden, um Kenntniß von der Art ihres Gefüges zu erlangen; ob sie vielleicht dem von *Agram* gleichen?

Es ist hier wohl der Ort, eine ähnliche, seltsame, bis jetzt ganz isolirt stehende Beobachtung über blätterige Eisenbildung in den Meteoriten hier einzureihen. — Auf dem merkwürdigen Meteoriten von *Agram* in der kaiserlichen Sammlung zu *Wien* fand ich freilich schon vor 31 Jahren unter der Verwaltung des gefälligen Custos *Megerle von Mühlenfeld*, beide Hauptseiten dieser über 70 Pfd. schweren Eisenmasse mit Ueberzügen — Rinden kann man sie nicht wohl nennen — von ganz verschiedener Beschaffenheit bedeckt. Die eine ist mit einer dünnen Haut von Eisenoxyduloxyd überzogen, ganz wie *Charlotte* und *Hauptmünzsdorf*, welche drei Meteoriten kurz nach dem geschehenen Niederfallen aufgehoben worden sind. Die andere entgegengesetzte Seite aber hat keinerlei Brandrinde, kein Eisenglas, sondern eine ganz eigenthümliche Bedeckung auf sich liegen, nämlich eine Rinde von metallischem Eisen. Sie ist eine Linie dick und läßt sich willig in Blättern vom Eisenkörper des Hauptmeteoriten ablösen, mit dem sie keinen festen Zusammenhang hat, ja von dem sie durch einen Hauch von Eisenoxyduloxyd zwischen beiden getrennt ist. Auf der Seite, mit der sie dem Eisenkörper anliegt, ist diese

Haut platt, auf der nach aufsen gekehrten aber mit feinen Wärzchen, Papillen, dicht bedeckt und davon gänzlich rauh. Sie ist nicht biegsam, sondern bricht leicht entzwei. Auf dem Bruche zeigt sie nichts weniger als verbrannte Natur, sondern erscheint ganz metallblank. Schon mit freiem Auge erkennt man, mit der Lupe aber sieht man sehr deutlich, dafs diese eine Linie dicke eiserne Haut wiederum nicht einfach ist, sondern aus fünf bis sechs auf einander liegenden metallischen Häuten, also aus Blättern besteht, die eine nach der andern aufgelagert worden sind. Und diese Blätter zeigen sich feinfasrig, die Fasern fast senkrecht auf ihre beiden Flächen gerichtet, wodurch sie das Aussehen von Cölestin oder Fasergyps von dünnen Lagen erhalten, alles mit eisengrauem Metallglanz versehen. Die letzte Schicht, die der Papillen, ist minder dicht, weniger vollendet als die unter ihr liegenden. Der Seltenheit wegen füge ich hier eine vergrößerte Zeichnung bei. Ich hätte sehr gewünscht, diese in ihrer Art ganz einzige, in vielem Betracht überaus merkwürdige und für die Theorie viel versprechende Erscheinung genau und umständlich studiren zu können; allein der schwere Eisenklumpen, von dem wir soviel hören und so wenig sehen, liegt jetzt in einem Kasten unter Glasfenstern, bis wohin das Auge zu genauerer Betrachtung und Prüfung nicht reicht, und an ein Herausnehmen aus seinem Käfig ist der Umständlichkeiten wegen dermal nicht zu denken. Eine erschöpfende Untersuchung dieser interessanten Verhältnisse mufs also künftigen Zeiten überlassen bleiben.

Bei allgemeiner Betrachtung gewinnt es das Ansehen als ob *Agram* an der Erscheinung der schuppigen Eisenablagerung einen einigermaafsen abgeänderten Theil genommen hätte. Da dieser Meteorit kein Stein, sondern eine Eisenmasse ist, so kann es nicht befremdend seyn, dafs das Gebilde hier in etwas abgeänderter Weise sich gestaltet hat. Es war hier kein Mangel, sondern ein Ueberflufs von Eisen überhaupt, Steinsubstanz dagegen mangelte gänzlich.

Aber wie hier auf und in Steinen, ebenso bei *Agram* auf Eisen trat eine Bildungsthätigkeit für Blättriges über die ganze eine Hälfte des Meteoriten auf, die zuletzt in feinsten Fasern unter fünfmaliger Wiederholung endigte. Wo wir bei den Steinen vielmalige Wiederholung von gestreiften Schüppchen sehen, die zuletzt ebenfalls in Blättriges, in eine Form von Blech, übergehen, da haben wir auf *Agram* den Repräsentanten in nicht minder grossen metallischen übereinander geschichteten Lamellen. Ohne Zweifel lag auf dieser Blätterschicht noch die unerläßliche Brandrinde, die von den vielen Händen, durch welche der Meteorit seit mehr als einem Jahrhundert gewandert, abgebröckelt worden ist, und mit ihr auch Fleckweise die Eisenblätter selbst.

Somit sehen wir die Erscheinungen, welche wir an den Meteoriten aller Kategorien wahrnehmen, nämlich das geschichtete Gefüge der Steinmeteoriten, das blättrig geschichtete Auftreten des Inhaltes der Ablosungen, die geschichtete Auflagerung der Eisenschüppchen bis zur Vereinigung zu Eisenblech und die Stratification von fünf Eisenhäuten über den Eisenmeteoriten von *Agram*, sich in Einem Brennpunkte sammeln, in dem nämlich, daß sie alle von einer Kraft beherrscht werden, die, wo ihr nicht Krystallisationskraft in den Weg tritt, allenthalben nach dem Gesetze der Schichtung thätig ist, und die Auflagerung der constituirenden Bestandtheile der Meteoriten nach der Regel der blätterigen Superposition vollzieht.

Wir fangen somit hier bei zwei Grundkräften an, welche wir am Bau aller Meteoriten jede in ihrer Richtung wirksam sehen, der uns ihren Gesetzen nach bekannten, der Krystallisation, und der uns ihrem Ursprunge nach hier unbekannten, der Schichtung.

Die Linien, Ablosungen und alle zugehörigen Erscheinungen sind zwar, wie wir sahen, in sehr vielen Steinmeteoriten, ja in der grossen Mehrzahl derselben anzutreffen, jedoch bleibt noch eine Anzahl übrig, in denen sie sich

nich
lass
teor
det.
sitze
Linie
Im
von
schw
nirg
von
Mau
chen
dann
mei
nier
Hau
wer
des
Mus
Har
und
der
gän
Lin

gen
von
wer
ent

Nat
a

nicht vorfinden, und diese darf ich hier nicht unerwähnt lassen. Dahin gehört zunächst *Borkut*, ein tiefgrauer Meteorit, dessen Hauptkörper in meiner Sammlung sich befindet. — Ebenso *Meno* den ich ebenfalls noch fast ganz besitze. Diese beiden Steine zeigen nirgends eine Spur von Linien oder Ablösungen weder tellurische noch kosmische. — Im Jardin des Plantes zu Paris sah ich das Hauptstück von *Juvenas*, einen Block von einem Cubikfusse, 90 Pfd. schwer, von allen Seiten angebrochen, ich gewahrte aber nirgends eine Ablösung. Auch zwei schöne Stücke davon in meiner Sammlung sind davon gänzlich frei. — *Mauerkirchen* im Hauptstücke bei der Akademie zu München, ausserdem in einem grossen Bruchstücke zu München, dann im britischen Museum und mehrere Exemplare in meiner Sammlung fand ich ganz frei von schwarzen Linien. — An *Wenden*, wovon ich im Berliner Museum das Hauptstück sah, gewahrte ich nichts dergleichen. — Ebenso wenig an *Maessing*. Leer sind ferner *Parma* im Jardin des Plantes; *Schalka*, *Manegaon*, *New Concord* im britischen Museum; *Benares*, *Clarac* und *Ausson*, *Timochin*, *Bachmut*, *Hartford*, *Nanjemoj*, *Poliz*, *Zaborschiza*, *Chantacapur*, *Milena* und *Oesel*, alle in meiner Sammlung und noch manche andere. Es ist demnach nichts seltenes, dass Steinmeteoriten gänzlich frei sind von den Erscheinungen der schwarzen Linien und ihrem Zugehör.

Rückblick.

1) In vielen Meteoriten, zumeist Steinmeteoriten, zeigen sie auf dem Bruche *dunkle Linien*, die das Ausgehende von schwärzlichen Blättern sind, von denen sie durchsetzt werden, und in deren Richtung man sie durch Ablösung entzwei theilen kann.

2) Diese Linien und Ablösungen sind von zweierlei Natur,

- a) solche, die sich beim Durchfluge der Meteoriten durch die Erdatmosphäre im Feuer erzeugten, *tellurische*;

b) solche, welche bei der ersten Entstehung der Meteoriten in den Welträumen sich bildeten, *kosmische*.

3) *Die Ersten, die tellurischen*, leiten sich ab von Rissen, welche die Steine durch zwei verschiedene Einwirkungen erlitten;

a) durch ihre über 5000° C. steigende Erhitzung vermöge außerordentlicher Zusammendrückung der Luft;

b) durch den Gegendruck der von ihnen mit planetarischer Geschwindigkeit durchheilten atmosphärischen Luft.

4) In solche klaffende Risse ist

a) die geschmolzene Rindensubstanz hineingeflossen und hat sie ausgefüllt.

b) hierin ist sie bei ihrer Dünnflüssigkeit durch das Haarröhrchengesetz unterstützt, und

c) durch gleichzeitig wirksam gewordenen atmosphärischen Luftdruck in die feinsten Ritzen hineingepreßt worden.

5) Sie ist schwarz, wo Eisen in den Meteoriten reichlich vorhanden ist, fast farblos, wo dieß fehlt.

6) Diese Ausfüllungen, von gleicher Substanz mit der Rinde, hängen mit ihr unmittelbar zusammen.

7) Bisweilen laufen einige solcher Rissaufüllungen neben einander fast parallel; oder sie stellen sich bis rechtwinklig auf einander, oder sie durchschwärmen den Meteoriten.

8) *Die Zweiten, die kosmischen*, leiten sich ab von eigenthümlich feinschuppigen Eisenablagerungen, welche sich in den Stein im Laufe seiner ursprünglichen Entstehung zu Blättern zusammengethan haben.

9) Sie fangen an mit kaum wahrnehmbaren Anflügen inmitten der Steinsubstanz, werden deutlich, indem sie sich übergangsweise bräunlich bis dunkelbraun färben; dann werden sie erdkobaltbraun, sofort grauschwarz, schwarz; hierauf nehmen sie schimmerndes Eisengrau an und gehen zuletzt in Eisenlamellen, in zusammenhängendes blattartiges Eisen über.

10) Der Menge ihrer Substanz nach dehnen sie sich vom feinsten Anfluge an erst zu dünnen, allmählich zu papierdicken Blättern aus; dann sich verstärkend durchsetzen sie den Stein gangartig, oder sie mengen sich mit dem beiderseitigen Gestein, zwischen das sie eingelagert sind; oder sie verdicken, vermehren, verzweigen sich ins Breite.

11) Der Form nach anastomosiren sie oftmals, zergabeln oder schaaren sich, werden scheckig, oder marmorisch, oder breiten sich durch den ganzen Stein aus. Sie gestalten sich an manchen Orten streifig, gefurcht und dieß nebeneinander mitunter krummlinig parallel. Die Richtung dieser Streifen und Furchen entspricht genau der gestrickten Fügung des Gesteins.

12) Auch in Eisenmeteoriten kommen analoge, weniger deutlich ausgesprochene Erscheinungen vor.

13) Die interessanteste Form ihres Vorkommens erscheint in Meteoriten, welche kleinere Meteoriten von älterem Herkommen eingeschlossen halten. Auf diesen vollständigen Enclaven zeigen sich schwarze selbstständige Linien, die ausschließlich auf sie sich beschränken, und eben darum nicht der ersten Abtheilung, *nicht den tellurischen angehören können, sondern der Zweiten, der kosmischen angehören müssen.*

14) die Natur bedient sich also zweier Formen der Eisenablagerung in den Steinmeteoriten: der der Krystallisation, und der der Schichtung.

15) die eisenreicheren Steinmeteoriten zeigen sich als die härteren; sie sind zugleich die dunkler grauen, diesen kommen vorzugsweise die kosmischen Linien zu. Auf den eisenärmern, weichern, weißern treten mehr die tellurischen auf.

16) Es zeigt sich eine gewisse periodische Wechselthätigkeit in der Ablagerung von gemengter Steinsubstanz und schwarzen Linien nebst Blättern auf den Meteoriten.

17) Die Dichtigkeit der Ablagerungssubstanz wechselt und giebt Linienerzeugnisse verschiedener Art.

18) Eisenblätter von einer ganz eigenthümlichen Form trägt der Meteorit von Agram.

19) Nicht alle Steinmeteoriten besitzen schwarze Linien, eine Anzahl ist deren ganz baar.

IV. *Die Ausdehnung der atmosphärischen Luft bei der Wolkenbildung;*

von Dr. Th. Reye,

Privatdocent in Zürich.

Friedrich Mohr giebt in Pogg. Ann. Bd. 117, S. 89 eine ins Einzelne gehende Erklärung von der Entstehung des Hagels. Er nimmt an, daß die weit unter dem Gefrierpunkte erkalteten oberen Luftschichten bei der Bildung von Gewitterwolken herabgezogen werden, und die zur Hagelbildung erforderliche Temperatur-Erniedrigung hervorbringen. Durch Luftfahrten und Bergersteigungen ist die große Kälte der oberen Luftschichten längst erwiesen. So beobachteten Barral und Bixio in der Höhe von 21060 Pariser Fufs die Temperatur von -39° C. Diese Hageltheorie würde daher einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit für sich haben, wenn nur das Herabstürzen der kalten Luft sich genügend erklären ließe.

Mohr glaubt die Ursache dieser Luftbewegung in der Condensation des atmosphärischen Wasserdampfes gefunden zu haben. Bei 20° C. hat nach Mohr der gesättigte Wasserdampf ein 58224 mal so großes Volumen, als das Wasser, aus welchem er entstanden ist; bei 0° sogar ein 182323 mal so großes¹⁾. Durch Verdichtung desselben muß daher, wie Mohr meint, eine »ganz ungeheure« Raum-

1) Die Meinung Mohr's, daß die Volumina des gesättigten Wasserdampfes doppelt so groß seyen, als oben angegeben, wenn der Luftdruck nur eine halbe Atmosphäre beträgt, ist offenbar eine irrige.

Verminderung eintreten. Diese »Vacuumbildung« hat eine starke Ansaugung von Luft, namentlich aus den oberen Schichten zur Folge, und die niedrige Temperatur dieser hinzuströmenden Luft verursacht eine neue Condensation usw.

Könnte der Dampf sich irgendwo ganz oder zum Theil verdichten *ohne seine latente Wärme abzugeben*, so würde allerdings das Volumen der mit ihm gemischten Luft sich verkleinern in dem Verhältniß des ganzen atmosphärischen Druckes zu dem verschwindenden Dampfdruck. Doch ist diese Volumverminderung nicht bedeutend, weil die Menge des Wasserdampfes sehr gering ist gegen diejenige der atmosphärischen Luft, in welcher er sich befindet. Zudem vergrößert die frei gewordene Verdampfungswärme das Luftvolum beträchtlich. Wir wollen hernach zeigen, daß bei mittlerer Luft-Temperatur diese Volum-Vergrößerung um mehr als das Fünffache jene Verkleinerung übertrifft. Die Mohr'sche Condensations-Theorie ist daher nicht statthaft.

Mit Hülfe des Mariotte'schen Gesetzes und der von Regnault bewiesenen Constanz der specifischen Wärme der Luft (bei constantem Druck) beweisen wir zunächst folgenden Hauptsatz:

Wird einer beliebigen Luftmenge unter constantem Druck eine Wärme-Einheit (Calorie) zugeführt, so dehnt sich die Luft aus und verrichtet dabei die äußere Arbeit von 123,15 Meter-Kilogramm, wie groß auch anfänglich ihr Volumen, ihre Spannung und Temperatur seyn mögen.

In diesem Satze und in allen folgenden Rechnungen sind als Mafseinheiten das Kilogramm, der Meter- und der Centesimalgrad angenommen worden.

Sey t die Temperatur, p die Spannung, k das Gewicht und $k v$ das Volumen der gegebenen Luftmenge, so daß v das Volumen der Gewichtseinheit bezeichnet. Dann ist nach Mariotte's und Gay-Lussac's Gesetz:

$$(1) \quad p \cdot k v = k R (a + t),$$

indem $a = 273$ ist und $R = 29,272$. Wird nun bei constantem Druck p die Wärmemenge W gleichmäßig über

jene k Kilogr. vertheilt, so steigt die Temperatur der Luft, wenn $c = 0,2377$ ihre spezifische Wärme bezeichnet, um $\frac{W}{kc}$ Grade. Das neue, dieser höheren Temperatur entsprechende Luftvolum kv_1 ergibt sich nach (1) aus der Gleichung:

$$p.kv_1 = kR \left(a + t + \frac{W}{kc} \right).$$

Subtrahiren wir (1) von dieser Gleichung, so folgt:

$$(2) \quad p.(kv_1 - kv) = \frac{R}{c} \cdot W = 123,15 W.$$

Da nun p den constanten Druck und $kv_1 - kv$ die Volumen-Zunahme der Luftmenge bezeichnet, so ist $p(kv_1 - kv)$ die bei der Ausdehnung verrichtete äußere Arbeit. Dieselbe ist der zugeführten Wärme proportional, und gleich 123,15 Meter-Kilogr., wie oben behauptet wurde, wenn $W = 1$ ist.

Die einschränkende Bestimmung, daß W gleichmäßig über die Luftmenge vertheilt werde, dürfen wir jetzt fallen lassen. Denn nach dem eben Bewiesenen verrichtet jeder Theil der Luftmenge eine äußere Arbeit, welche der ihm zugeführten Wärme proportional ist. Die Arbeit der ganzen Luftmenge ist also wieder $= 123,15 W$, wenn auch die Wärmemenge W ungleichmäßig über sie vertheilt wird, und sogar auch dann, wenn die Lufttheile anfangs ungleiche Temperatur besitzen. Vertheilen wir die Wärmemenge W anfänglich ungleichmäßig, so wird also keine neue Arbeit verrichtet werden können, wenn W sich nachträglich gleichmäßig in der Luftmenge verbreitet: die letztere behält ihr einmal erlangtes Volumen, unabhängig von der Vertheilung ihrer inneren Wärme. Hieraus folgt der Satz:

Wenn beliebige Mengen trockener Luft von gleicher Spannung und ungleicher Temperatur sich mischen, so ändert sich bei der Temperatur-Ausgleichung ihr Gesamt-Volumen nicht.

Dieser Satz kann auch direct aus dem Mariotte'schen Gesetz abgeleitet werden.

Wir können jetzt leicht die Ausdehnung berechnen, welche die Verdichtung einer beliebigen Dampfmenge in der Atmosphäre hervorruft. Eine solche Condensation tritt vielfach ein, wenn zwei mit Wasserdampf gemischte Luftmengen von ungleicher Temperatur einander durchdringen, und namentlich bei der Wolken- und Nebelbildung. Sey beispielsweise 10° C. die Temperatur, bei welcher irgendwo ein Kilogrm. Wasserdampf sich verdichtet. Da die Verdampfungswärme dieses Dampfes, welche nach Regnault 599,9 Einheiten beträgt, der umgebenden Luft mitgetheilt wird, so dehnt sich diese aus und verrichtet nach Gleichung (2) die Arbeit:

$$123,15 \cdot 599,9 \text{ oder } 73877,7 \text{ Meter-Kilogrm.}$$

Die Ausdehnung beträgt daher bei der Spannung $p = 10336$ Kilogrm. oder bei einer Atmosphäre:

$$\frac{73877,7}{10336} \text{ oder } 7,147 \text{ Cubikmeter.}$$

Sie beträgt $7,147n$ Cubikmeter bei dem Drucke von $\frac{1}{n}$ Atmosphäre. Da aber in diesem Fall das specifische Gewicht der Luft nur den n^{ten} Theil ausmacht von dem bei einer Atmosphäre Spannung ihr zukommenden, so ist offenbar das Gewicht der $7,147n$ Cubikcentimeter unabhängig vom Luftdruck. Nun wiegt nach Regnault ein Cubikcentimeter Luft bei 0° und bei einer Atmosphäre Spannung 1,29319 Kilogrm. Das Gewicht der Luft, welche bei der Condensation von ein Kil. Dampf (von 10°) durch die verursachte Ausdehnung verdrängt wird, ist somit:

$$7,147 \cdot 1,29319 \cdot \frac{273}{283} = 8,916 \text{ Kilogrm.}$$

Auf ähnliche Weise sind in der unten folgenden Tabelle auch die übrigen Zahlen der fünften Spalte berechnet worden.

(Die Ausdehnung der Luft ist aber nicht die wirklich eintretende. Sie wird vielmehr vermindert durch die gleichzeitige Contraction, welche bei dem Ausscheiden des Wasserdampfs in Folge der Spannungsverminderung eintritt.

Die Größe dieser Contraction nimmt auch unabhängig von der gleichzeitigen Ausdehnung ein gewisses Interesse in Anspruch. Wenn nämlich von der Erdoberfläche Wasserdampf in die Atmosphäre eindringt, so übernimmt derselbe einen Theil der atmosphärischen Spannung und veranlaßt daher eine Expansion der Luft, welche der bei seiner Ausscheidung eintretenden Contraction gleichkommt. Die folgende Rechnung wird zeigen, daß durch die Contraction etwa 1,62 Kilogr. Luft angesogen werden bei dem Ausscheiden von nur einem Kilogr. Wasserdampf. Die Luft, welche der Wasserdampf bei seinem Aufsteigen *verdrängt* hat, wiegt also 62 Proc. mehr als der Wasserdampf selbst. Wir erhalten daher folgendes Resultat:

Bei gleicher Temperatur und Spannung ist feuchte Luft specifisch leichter als trockene.

So z. B. zeigt eine leichte Rechnung, die wir aber hier nicht weiter ausführen wollen, daß bei einer Atmosphäre Spannung gesättigte Luft von 20° C. specifisch so schwer ist, wie trockene von 22,6° C. Diese Ergebnisse sind deshalb vielleicht von einigem Interesse, weil ihnen zufolge am Meere Landwinde selbst dann eintreten können, wenn die feuchte Seeluft *kälter* ist als die trocknere Luft am Lande.

Bei 10° C. ist das Volumen von einem Kilogr. gesättigten Wasserdampfs = 107,79 Cubikmeter, und seine Spannung = 0,01206 Atmosphäre. Wird also in 107,79 Cubikmetern feuchter atmosphärischer Luft ein Kilogr. Wasserdampf bei 10° C. condensirt, jedoch ohne daß der Luft die freigewordene Wärme zugeführt wird, so vermindert sich die Spannung der Luft um 0,01206 Atmosphären oder vielmehr ihr Volumen um:

0,01206 · 107,79 oder 1,300 Cubikmeter, wenn der Luftdruck vor und nach der Condensation eine Atmosphäre beträgt. Die Volum-Verkleinerung ist 1,300 n Cubikmeter, wenn der Luftdruck nur $\frac{1}{n}$ Atmosphäre beträgt.

Immer aber ist das *Gewicht* der bei dieser Contraction angesogenen Luft:

$$1,300 \cdot 1,29319 \cdot \frac{273}{283} \text{ oder } 1,622 \text{ Kilogramm.}$$

Dieselbe Gröſſe hat die Contraction auch dann, wenn aus dem k fachen Luftvolum (von 107,97 k Cubikmeter) ein Kilogramm. Wasserdampf ausscheidet. Denn weil auf den Wasserdampf bei niedrigen Temperaturen das Mariotte'sche Gesetz unbedenklich Anwendung findet, so vermindert sich hierbei die Luftspannung um $\frac{0,01206}{k}$ Atmosphäre innerhalb

jenes Raumes. Die Contraction ist also wieder $\frac{0,01206}{k}$. 107,79 k oder 1,300 Cubikmeter, wie oben. Ueberhaupt erhalten wir aus der folgenden Tabelle die Contraction für je ein Kilogramm. ausscheidenden Wasserdampfes *dem Volumen nach*, wenn wir irgend einen Werth der zweiten Spalte mit der entsprechenden Zahl aus der vierten Spalte multipliciren. Da aber diese Volumina nur für den Luftdruck von einer Atmosphäre gelten, so haben wir vorgezogen, unter 6 in der Tabelle die entsprechenden *Gewichte* der angesogenen Luft aufzuführen.

Temperatur (Grad. C.)	Temperatur (Grad. F.)	Luftdruck (Atmosphäre)	Gewicht (Kilogramm)
+40	104	1	0,0253
+30	86	2	0,0250
+20	68	3	0,0248
+10	50	4	0,0246
+0	32	5	0,0244
-10	14	6	0,0242
-20	-4	7	0,0240
-30	-22	8	0,0238
-40	-40	9	0,0236
-50	-58	10	0,0234
-60	-76	11	0,0232
-70	-94	12	0,0230
-80	-112	13	0,0228
-90	-130	14	0,0226
-100	-148	15	0,0224
-110	-166	16	0,0222
-120	-184	17	0,0220
-130	-202	18	0,0218
-140	-220	19	0,0216
-150	-238	20	0,0214
-160	-256	21	0,0212
-170	-274	22	0,0210
-180	-292	23	0,0208
-190	-310	24	0,0206
-200	-328	25	0,0204
-210	-346	26	0,0202
-220	-364	27	0,0200
-230	-382	28	0,0198
-240	-400	29	0,0196
-250	-418	30	0,0194
-260	-436	31	0,0192
-270	-454	32	0,0190
-280	-472	33	0,0188
-290	-490	34	0,0186
-300	-508	35	0,0184
-310	-526	36	0,0182
-320	-544	37	0,0180
-330	-562	38	0,0178
-340	-580	39	0,0176
-350	-598	40	0,0174
-360	-616	41	0,0172
-370	-634	42	0,0170
-380	-652	43	0,0168
-390	-670	44	0,0166
-400	-688	45	0,0164
-410	-706	46	0,0162
-420	-724	47	0,0160
-430	-742	48	0,0158
-440	-760	49	0,0156
-450	-778	50	0,0154
-460	-796	51	0,0152
-470	-814	52	0,0150
-480	-832	53	0,0148
-490	-850	54	0,0146
-500	-868	55	0,0144
-510	-886	56	0,0142
-520	-904	57	0,0140
-530	-922	58	0,0138
-540	-940	59	0,0136
-550	-958	60	0,0134
-560	-976	61	0,0132
-570	-994	62	0,0130
-580	-1012	63	0,0128
-590	-1030	64	0,0126
-600	-1048	65	0,0124
-610	-1066	66	0,0122
-620	-1084	67	0,0120
-630	-1102	68	0,0118
-640	-1120	69	0,0116
-650	-1138	70	0,0114
-660	-1156	71	0,0112
-670	-1174	72	0,0110
-680	-1192	73	0,0108
-690	-1210	74	0,0106
-700	-1228	75	0,0104
-710	-1246	76	0,0102
-720	-1264	77	0,0100
-730	-1282	78	0,0098
-740	-1300	79	0,0096
-750	-1318	80	0,0094
-760	-1336	81	0,0092
-770	-1354	82	0,0090
-780	-1372	83	0,0088
-790	-1390	84	0,0086
-800	-1408	85	0,0084
-810	-1426	86	0,0082
-820	-1444	87	0,0080
-830	-1462	88	0,0078
-840	-1480	89	0,0076
-850	-1498	90	0,0074
-860	-1516	91	0,0072
-870	-1534	92	0,0070
-880	-1552	93	0,0068
-890	-1570	94	0,0066
-900	-1588	95	0,0064
-910	-1606	96	0,0062
-920	-1624	97	0,0060
-930	-1642	98	0,0058
-940	-1660	99	0,0056
-950	-1678	100	0,0054

Die Condensation verursachende Volumänderungen¹¹ 1 Kilogramm gesättigten Wasserdampfes.

1. Temperatur (Celsius)	2. Volumen (Kub. Met.)	3. Verdampfungs- Wärme (Calorien)	4. Spannung (Atmosphären)	5. Expansion durch Wärme- Entbindung (Kilogramm.)	6. Contraction durch Span- nungs-Verlust (Kilogramm.)	7. Wehre Expansion (5) : (6)	8. Verhältnis der Expansion zur Contraction (5) : (6)
- 10°	447,6	614,1	0,0027	9,82	1,62	8,20	6,05
- 5	300,4	610,5	0,0041	9,58	1,62	7,96	5,91
0	207,4	607,0	0,0060	9,35	1,62	7,73	5,76
+ 5	148,6	603,5	0,0086	9,13	1,62	7,51	5,63
+ 10	107,8	599,9	0,0121	8,92	1,62	7,30	5,50
+ 15	79,12	596,4	0,0167	8,71	1,62	7,09	5,37
+ 20	58,70	592,8	0,0229	8,51	1,62	6,89	5,26
+ 25	44,03	589,3	0,0310	8,32	1,62	6,70	5,14
+ 30	33,37	585,8	0,0415	8,13	1,61	6,52	5,04
+ 35	25,54	582,2	0,0550	7,95	1,61	6,34	4,93
+ 40	19,74	578,7	0,0722	7,78	1,61	6,17	4,84

Die wirkliche Expansion der Luft bei der Verdichtung von einem Kilogramm. Wasserdampf ist in der Tabelle unter 7 angegeben, und zwar wieder durch das *Gewicht* der verdrängten Luft. Sie nimmt, wie man sieht, ab mit der Temperatur, und läßt sich für mittlere Temperaturen bis zur ersten Decimale genau darstellen durch den Ausdruck:

$$7,7 - 0,04t \text{ Kilogramm.}$$

wenn t die Lufttemperatur bezeichnet, bei der die Condensation vor sich geht. Das *Volumen* der verdrängten Luft wird bis zur dritten Decimale genau dargestellt durch

$$5,972 - 0,0126t \text{ Cubikmeter,}$$

wenn der Luftdruck eine Atmosphäre beträgt.

Die Spalte 8 unserer Tabelle bestätigt unsere frühere Behauptung, daß bei der Condensation des atmosphärischen Wasserdampfes die Contraction der Luft durch Spannungsverlust kaum ein Fünftel beträgt von der Expansion durch die frei gewordene Wärme.

Zum Schluß wollen wir die Zahlen der siebenten Spalte benutzen zur Lösung einer meteorologischen Frage: bis zu welchem Grade nämlich die aufsergewöhnlichen Schwankungen des Barometers der Condensation und dem Ausscheiden des atmosphärischen Wasserdampfes zugeschrieben werden dürfen. Denken wir uns aus der Atmosphäre eine verticale Säule von einem Quadratmeter Grundfläche ausgesondert. In dieser Säule möge ein Kilogramm. Wasserdampf als Regen herabstürzen, so daß die Regenhöhe ein Millimeter beträgt. Die Luft dehnt sich dabei aus, und wenn ihre Temperatur an dem Condensationsorte z. B. 10° beträgt, so entweichen wegen dieser Expansion etwa 7,3 Kilogramm. Luft, entweder seitwärts, oder nach oben hin, wo sie an der Gränze der Atmosphäre nach den Seiten abfließen kann. Rechnen wir hierzu den niedergeschlagenen Wasserdampf, so hat das Gewicht der Luftsäule, welches durchschnittlich 10336 Kilogramm. beträgt, abgenommen um 8,3 Kilogramm. Die durchschnittliche Barometerhöhe von 760^{mm} muß sich also vermindert haben um

$\frac{8,3 \cdot 760}{10336}$ oder 0,61 Millimeter,

also um $\frac{3}{5}$ der Regenhöhe. Das macht auf einen Zoll Regen etwa sieben Linien.

Wir brauchen wohl kaum zu bemerken, daß diese Rechnung nur die obere Gränze angiebt für das durch Wolkenbildung hervorgerufene Sinken des Barometers. Die wirklichen Schwankungen des Quecksilbers werden diese Gränze auch nicht entfernt erreichen. Denn einmal fließt bei der Condensation des Dampfes die verdrängte Luft nicht sofort ab, anderseits wird sie an der Erdoberfläche durch seitlich heranströmende kältere Luft größtentheils ersetzt. Daher schwankt in den Aequinoctial-Gegenden Amerika's trotz der heftigen, wasserreichen Gewitter, die sich täglich bilden, das Barometer gewöhnlich nur um 1 bis 1,3 Linien täglich, und nur einmal beobachtete Humboldt eine Schwankung von zwei Linien. Den sechs Linien Regen, die Humboldt mehr als einmal in einer Stunde hat fallen sehen, würde dagegen nach obiger Rechnung ein beträchtliches Fallen des Barometers, nämlich um 3,5 Linien entsprechen.

Zürich, den 2. März 1863.

V. Ueber einen Apparat, welcher einen abgeschlossenen Raum auf constanter Temperatur erhält; von Dr. F. Kohlrausch.

Es ist mir nicht bekannt, daß eine Vorrichtung wie die folgende, obwohl nahe liegend, ausdrücklich erwähnt ist. Sie kann meiner Meinung nach zu manchen Versuchen brauchbar und bequem seyn, weswegen ich mir erlaube sie kurz zu beschreiben. Veranlassung zu ihrer Construction war das Bedürfnis nach einem kleinen abgeschlossenen Raum, welcher unabhängig von äußeren Einflüssen auf ganz constanter Temperatur bleibt.

Diese Absicht wird durch Heizung des Raumes mit einem galvanischen Strom erreicht, welchen ein Metallthermometer unterbricht, sobald die Temperatur über den verlangten Punkt steigt. Die Einrichtung, so, wie sie mir gute Dienste thut, ist durch Fig. 4 Taf. V in ungefähr halber Gröfse dargestellt. *a* ist der erwärmte Platindraht, welchem der Strom durch den Messinghalter *b* mittelst einer Klemmschraube zugeführt wird. Der Strom geht von da in den Quecksilbernapf *c* und durch einen Metall-Zeiger, welcher an dem unteren Ende der Thermometerspirale befestigt ist und zwei eintauchende Spitzen trägt, in das Quecksilber *d* und zur Batterie zurück.

Der Napf *c* ist in einer kreisförmigen Rinne verstellbar, an deren Rand die Thermometer-Theilung für die Spitze des Zeigers angebracht ist. In dem der Temperatur nach oberen Rande des Gefäßes ist ein Ausschnitt befindlich, durch welchen die Spitze hindurchgeht, aus dem aber das höher stehende Quecksilber der Capillarität wegen nicht ausfließen kann. Hier wird also bei steigender Temperatur der Strom unterbrochen. Um das Amalgamiren der Spitzen und das Anhängen des Quecksilbers zu vermeiden, bestehen diese aus angelötheten Platindrähten. Dafs der Ort der Unterbrechung durch möglichst bewegliches, also reines Quecksilber regelmässiger wird, versteht sich von selbst.

Die beiden Theile (oder auch nach Bedürfnifs das ganze auf einem Stativ) werden mit dem Körper oder Apparat, welcher auf constanter Temperatur erhalten werden soll, in einen Kasten gesetzt, dessen Wände die Wärme schlecht leiten, mit Tuch ausgeschlagen sind, doppelte Flächen haben, oder wie sich am besten die möglichst geringe Abgabe nach aufsen herstellen läfst. Diefs ist ein Hauptpunkt; denn je geringer der Verlust, desto schwächer darf der Strom seyn, um noch eine bestimmte Temperaturerhöhung hervorzubringen. Die beständige Beobachtung, ohne den Apparat öffnen zu müssen, wird leicht durch ein passend angebrachtes (doppeltes) Fenster erreicht.

Mein roh verfertigter Apparat hat eine Spirale aus Zink

und Eisen von nur 9 Windungen von je 9^{mm} Durchmesser: einem Grad Temperaturerhöhung entspricht eine Drehung des 9^{cm} langen Zeigers um 1°. Der Kasten war ziemlich primitiv und das Quecksilber durchaus nicht rein. Dennoch schwankte ein Thermometer mit sehr kleiner Kugel, also jede Veränderung sehr schnell angehend, nur um einige Zehntel Grad, wenn die Gleichgewichtslage einmal erreicht war, z. B. während 5 Stunden nur zwischen 22°,3 und 22°,6 R. Ein sorgfältig construirter Apparat mit einer empfindlichen Spirale kann hiernach ohnstreitig bis auf $\frac{1}{10}$ Grad constant bleiben. Doch wird die Empfindlichkeit besser in einer kräftigen Spirale mit langem Zeiger, als in einer fein ausgerollten Spirale nach Art des Breguet'schen Thermometers gefunden, weil letztere durch die geringste Erschütterung in unangenehme Schwankungen versetzt wird.

Beschränkt ist der Gebrauch dadurch, daß die innere constante Temperatur höher seyn muß als die äußere. Durch einen Strom nachzuhelfen, welcher nach dem Peltier'schen Gesetz in einer Löthstelle von Antimon und Wismuth »Kälte« erzeugt, würde wohl etwas complicirt seyn; doch wäre es nicht unmöglich. Im Allgemeinen aber wird man, etwa bei Versuchen über Elasticität, Wärme, chemische Veränderungen usw. mit der constanten Temperatur überhaupt ausreichen, und anderseits wird die im Winter häufig vorkommende Forderung, daß die Temperatur z. B. einer Lösung nicht unter einen gewissen Punkt sinke, mit dem Apparat sich leicht erzielen lassen, der dann als eine Art von Sicherheitsventil wirkt.

Je nach der verlangten Temperatur-Erhöhung genügt eine schwächere oder stärkere Kette. Das Maximum der Wärmeentwicklung in einem Leiter durch eine gegebene Kette ist proportional der Zahl der Elemente, dem Quadrate der elektromotorischen Kraft des einzelnen Elementes und umgekehrt seinem Widerstande. Es wird, wie sich leicht ergibt, sowohl bei gegebenem Widerstande des Drahtes als bei gegebener Kette erreicht, wenn der innere dem äußeren Widerstande gleich ist. Im zweiten Falle

ist die Aufstellung der Elemente hinter oder neben einander gleichgültig, wenn nur die angegebene Bedingung erfüllt ist.

Sollen Luftströmungen vermieden werden, die ein heftig erwärmter kurzer Draht hervorbringt, so kann man ihn durch einen längern von gleichem Gesamtwiderstande ersetzen, dessen Ort und Vertheilung man im Belieben hat.

Frankfurt a. M., Juni 1865.

**VI. Ueber die Anwendung der Verbindungsspectren zur Entdeckung von Chlor, Brom und Iod in geringster Menge;
von Alexander Mitscherlich.**

Bekanntlich ist es eine der schwierigsten Aufgaben, kleine Quantitäten von Chlor-, Brom- oder Iodverbindungen in einem Gemenge von Haloïdsalzen zu entdecken, und es ist vollständig unmöglich, Spuren dieser Körper in solchen Gemengen durch die bisherigen Methoden nachzuweisen.

Es ist mir gelungen, eine Methode ausfindig zu machen, durch die man leicht Chlor-, Brom- und Iodverbindungen durch den Spectralapparat auffinden und die geringsten Mengen dieser Salzbildner, weniger als ein Milliontel, entdecken kann.

Das Kupfer, das sich vor allen andern Metallen dadurch auszeichnet, daß es Verbindungen mit den Salzbildnern eingeht, die bei höherer Temperatur durch den Einfluß anderer Substanzen sich sehr schwer zersetzen und erst bei der höchsten Temperatur, die wir erzielen können, in ihre Bestandtheile zerlegt werden, eignet sich vorzüglich durch die Spectren dieser Verbindungen zur Erkennung der kleinsten Mengen der Salzbildner.

Ganz anders verhalten sich die meisten anderen Metalle in dieser Hinsicht, wie ich dies in meiner letzten Abhand-

lung über die Spectren ¹⁾ gezeigt habe; wie z. B. die Metalle der Alkalien, die, wenn man sie schon in Flammen von niedriger Temperatur bringt, sich aus ihren Verbindungen ausscheiden, oder die der alkalischen Erden und das Wismuth, die zwar Spectren der Haloïdsalze auf Umwegen sehr gut erkennen lassen, aber sich leicht im metallischen Zustand oder als Oxyd abscheiden. Man beobachtet durch das Spectrum, daß sich in der Flamme aus letzteren Verbindungen durch den Einfluß des Sauerstoffs die Oxyde, und durch die hohe Temperatur und die reducirenden Gase die Metalle bilden.

Zur Nachweisung der Salzbildner auf spectralanalytischem Wege ist demnach nur Kupfer zweckmäßig anzuwenden.

Die Untersuchung geschieht nach folgenden Methoden:

Die getrockneten, festen Substanzen werden mit der Hälfte ihres Gewichtes an schwefelsaurem Ammoniak und einem Zehntel Gewichtstheil Kupferoxyd innig gemengt und nach Methode 3 meiner letzten Abhandlung untersucht; d. h. das Gemenge wird in die kugelförmige Erweiterung eines Glasrohres gebracht, welches auf der einen Seite mit einem Wasserstoffapparat nach Rose in Verbindung steht, der einen continuirlichen Strom giebt, auf der andern Seite nahe der Kugel offen ist. Ueber die Masse leitet man das Wasserstoffgas, entzündet es und erhitzt sie langsam. Es färbt sich die Flamme stets anfangs etwas durch eine Oxydationsstufe des Kupfers, bis das Kupferoxyd reducirt ist; man sieht hierbei durch den Spectralapparat eine Helligkeit im Grün, die meist zu unklar ist, um ein bestimmtes Spectrum deutlich erkennen zu lassen; später treten dann sehr deutlich die Spectren der Haloïdsalze des Kupfers auf, die nach den Zeichnungen in den Tafeln V und VI des vorigen Jahrganges dieser Zeitschrift leicht zu erkennen sind. Die in diesen Tafeln enthaltenen Abbildungen der Spectren entsprechen in der vorliegenden Ausführung nicht vollständig meinen Wünschen, und ich beabsichtige deshalb

1) Pogg. Ann. Bd. 121 (1864) S. 459.

in Begleitung einer demnächst zu veröffentlichenden Abhandlung dieselben von Neuem in Farben zu geben.

Bei sehr schwachen Reactionen erkennt man die Chlorverbindung am besten durch die Linien bei 105 und 109 und durch die Helligkeit bei 85 bis 87 der gezeichneten Scale, die Bromverbindung durch die Helligkeiten bei 85, 88 $\frac{1}{2}$ und 92 und das Iodkupfer durch die Helligkeiten bei 96, 99 und 102 $\frac{1}{2}$. Es läßt sich nach dieser Methode ohne weitere Uehung $\frac{1}{10}$ Proc. Chlor, $\frac{1}{2}$ Proc. Brom und 1 Proc. Iod nachweisen; ein geübter Beobachter kann viel kleinere Quantitäten entdecken. Als ein Nachtheil dieser Methode erscheint es indess, daß das schwefelsaure Ammoniak, welches bei der höheren Temperatur sich zersetzt und das Ammoniak spectrum giebt, die Reaction sehr verdunkelt. Bei mehreren Verbindungen ist ein Zusatz von diesem Salz zur Zersetzung der angewandten Substanzen unnöthig, so beim Chlorsilber, bei den Chlorverbindungen des Quecksilbers u. a. m., bei diesen ist dann die Reaction außerordentlich scharf.

Bei Anwendung von schwefelsaurem Ammoniak lassen sich die Salzbildner, wenn sie in kleineren Quantitäten mit einander gemengt vorkommen, schwer erkennen, so daß, um dieselben in diesem Falle nachzuweisen, die folgende Methode angewendet werden muß:

Man fällt die Salzbildner mit einem Silbersalz, versetzt den getrockneten Niederschlag mit dem doppelten Gewicht Kupferoxyd, mengt die Masse innig und untersucht dieselbe, wie angegeben. Man findet auf diese Weise weniger als $\frac{1}{10}$ Proc. Chlor, $\frac{1}{2}$ Proc. Brom und $\frac{1}{6}$ Proc. Iod in dem durch das Silbersalz entstandenen Niederschlage. Die Spectren treten hierbei nach einander auf, zuerst das des Chlorkupfers, dann das des Bromkupfers und zuletzt das des Iodkupfers.

Diese Erscheinung rührt von der verschiedenen Flüchtigkeit dieser Kupfersalze her. Chlorkupfer verflüchtigt sich schon weit unter der Temperatur der Rothgluth, Bromkupfer nahe dieser Temperatur und Iodkupfer bei schwa-

cher Rothgluth. Je langsamer die Verflüchtung vorgenommen wird, desto genauer sind die Resultate der Analyse.

Sind die geringsten Spuren von Iod- und Bromverbindungen bei einem großen Ueberschufs von einer Chlorverbindung vorhanden, so setzt man zur Lösung ungefähr ein Zehntel Gramm salpetersaures Silberoxyd hinzu, läßt den Niederschlag kurze Zeit stehen, und nimmt dann dieselbe Operation, wie oben angegeben, vor. Es ist in diesem Niederschlag die größte Menge des Iods und Broms enthalten, so daß man in ihm leicht diese Körper nachweisen kann.

Um ein Bild von der Genauigkeit dieser Methode zu geben, will ich nur folgende Versuche anführen: Zu einem Pfunde Kochsalz, das kein Brom enthielt, wurden 5 Milligramm Bromnatrium hinzugesetzt, hierzu 1 Decigramm salpetersaures Silberoxyd und, wie angegeben, der Niederschlag behandelt. Nachdem das Spectrum des Chlorkupfers längere Zeit beobachtet war, konnte man fünf Minuten lang das Spectrum des Bromkupfers deutlich erkennen. Zu der Kochsalzlösung wurde von Neuem 1 Decigramm salpetersaures Silberoxyd gesetzt und das Gemenge ebenso untersucht. Sechs Minuten lang konnte man die Reaction beobachten.

Entsprechende Versuche wurden mit Iodverbindungen angestellt; die Reactionen erfolgten hierbei mit derselben Schärfe. Da eine Zehntel Minute zur Erkennung des Spectrums hinreichend ist, die Reaction aber über zehn Minuten dauerte, da durch dieselbe ein Hunderttausendtel nachgewiesen wurde, läßt sich somit ein Zehnmilliontel Iod oder Brom im Chlornatrium entdecken.

Man kann hieraus ersehen, daß diese Erkennungsmethode fast unbegrenzt ist, wenn nur genug des zu untersuchenden Körpers vorhanden ist.

In $6\frac{1}{2}$ Pfund Meerwasser, das ich der Güte des Hrn. A. Lasard in Minden verdanke, der es selbst in der Nähe von Helgoland geschöpft hat, liefs sich 7 Minuten lang die Reaction auf Brom beobachten. Iod konnte ich nicht nach-

weisen, da wahrscheinlich die Menge des angewandten Wassers zu gering war.

Im Wasser des todtten Meeres, von dem mir ebenfalls nur geringe Quantitäten zu Gebote standen, fand ich größere Mengen von Brom, aber auch kein Iod.

In einer geringen Menge Mutterlauge von der Kochsalzbereitung aus Salzsolen, habe ich verhältnißmäßig große Mengen von Brom und kein Iod gefunden.

Hat man organische Substanzen auf Salzbildner zu untersuchen, so geschieht dies in einer Röhre mit 2 Kugeln, die mit dem Wasserstoffapparat in Verbindung steht. In der der Flamme zunächst gelegenen Kugel wird das Kupferoxyd erhitzt, und über das durch den Wasserstoff nun reducirte Oxyd werden die Producte der erhitzten organischen Substanz, die sich in der anderen Kugel befindet, geleitet; man kann auf diese Weise die geringste Menge von Chlor, Brom und Iod entdecken, und zwar auch Spuren des einen Salzbildners bei großem Ueberschuß der anderen.

Es würde von großer Wichtigkeit seyn, eine gute Methode aufzufinden zur Bestimmung der Quantität der Salzbildner in ihren Gemengen, da die bisherigen viel zu wünschen übrig lassen. Es liegt deshalb nahe zu versuchen, ob sich quantitativ die Mengen der Salzbildner annähernd durch das Spectrum ermitteln lassen. Ich leitete zu diesem Zweck durch gleich stark erhitzte, gleich große mit der Substanz gefüllte Kugelhöhen mit gleicher Oeffnung von der oben angegebenen Form einen gleich starken Strom von Wasserstoff, und konnte die Quantität sowohl eines Salzbildners, als auch eines Gemenges von mehreren allerdings durch die Zeit der Verdampfung ihrer Kupferverbindungen ungefähr bestimmen, da zuerst das Chlor-, dann das Brom- und zuletzt das Iodkupfer so verdampfte, daß man den Uebergang aus dem einen Spectrum in das andere deutlich beobachten konnte. Aber die kaum zu vermeidenden großen Fehlerquellen machen die Operation so schwierig, daß sie als analytische Methode keine Anwendung finden wird.

Als Resultat der angeführten Untersuchungen ergibt sich Folgendes: Eine quantitative Bestimmung der Salzbildner durch das Spectrum ist nicht wohl ausführbar, die qualitative Analyse derselben, die bei ihren Gemengen von besonderem Werthe ist, läßt sich dagegen mit der größten Leichtigkeit und Sicherheit vornehmen; diese Untersuchungsmethode übertrifft bei weitem alle bisher hierzu angewandten an Genauigkeit und kann den allerschärfsten analytischen Methoden an die Seite gestellt werden.

Als vorläufige Notiz erlaube ich mir Folgendes anzufügen.

Bei der Verfolgung der in meiner oben erwähnten Abhandlung¹⁾ veröffentlichten Thatsachen, betreffend die Beziehungen der Spectren zu den Atomgewichten, habe ich gefunden, daß sich derartige Beziehungen außer bei den dort angeführten Salzen auch bei andern Verbindungen auffinden lassen, und ferner, daß dieselben auch zwischen den Atomgewichten und Spectren der meisten Metalloide bestehen.

Schon in meiner letzten Abhandlung sprach ich auf Grund der verschiedenartigen Spectren des Iods und des analogen Verhaltens dieser Spectren mit denen der Metalle und ihrer Verbindungen die Ansicht aus, daß Iod ein zusammengesetzter Körper sey, und glaubte folgern zu dürfen, daß sich wie Iod auch einige andere Metalloide verhielten. Durch weitere Untersuchungen habe ich solche verschiedenartigen Spectren bei fast allen Metalloiden gefunden, und muß diese somit ebenfalls als *zusammengesetzte Körper* betrachten.

Die Experimente, welche diese Auffassung begründen, werde ich demnächst mit den anderen Resultaten meiner Untersuchungen mittheilen.

Berlin, Juli 1865.

(1) Pogg. Ann. Bd. 121 (1864) S. 459.

VII. *Ueber eine Reihe von Verbindungen der Vitriole in bestimmten Aequivalentverhältnissen; von Carl Ritter von Hauer.*

Aus den von Mitscherlich und Rammelsberg angestellten Beobachtungen über die Krystallisationsverhältnisse gemischter Lösungen von Kupfervitriol mit anderen schwefelsauren Salzen der Magnesiagruppe geht hervor, daß es zwei Reihen von Salzen giebt die nach den Typen:



zusammengesetzt sind, worin $\text{RO} = \text{MgO}$ oder ZnO , FeO MnO ist. Die einzelnen Glieder der ersten Reihe zeigen die Krystallform der Kupfervitriole, die der zweiten jene des Eisenvitriols. Das quantitative Verhältniß von $\text{CuO}:\text{RO}$ ist wohl in beiden Salzreihen ein mannigfach wechselndes, doch aber ist durch Rammelsberg, der speciell die Verhältnisse näher prüfte¹⁾, dargethan worden, daß in allen Salzen der ersten Reihe das Kupferoxyd stets bedeutend im Ueberschuss vorhanden war. Die Krystallisationsverhältnisse dieser Gemische sind daher nicht völlig analog jenen, welche bei Mischungen wirklich isomorpher Verbindungen stattfinden; das Vorwalten des einen Bestandtheils in der gemischten Lösung wirkt bestimmend auf die Hydratbildung der anderen, wodurch sie erst isomorph werden. Der in der Lösung überschüssig vorhandene Bestandtheil waltet darnach auch in den sich daraus absetzenden Krystallen vor, und es ist hierdurch, für je einen Typus der beiden Salzreihen, den Mengungsverhältnissen der einzelnen Salze eine Gränze gegeben, die bei eigentlich isomorphen Verbindungen nicht existirt, ausgenommen es wäre eine solche durch ihre allzu differirende Löslichkeit bedingt.

Diese Betrachtungen legen die Vermuthung nahe, daß in den Gliedern dieser beiden Salzreihen dennoch bestimmte

1) Pogg. Annal. Bd. 91, S. 321.

Aequivalentverhältnisse eine Rolle spielen möchten. Die zwei Reihen von Verbindungen mit 5 und 7 Aequivalenten Wasser zerfielen darnach je in mehrere Reihen, deren Glieder eine ähnliche aber wohl nicht absolut gleiche Krystallgestalt besitzen dürften. Ohne diese Supposition hier vorläufig weiter zu verfolgen, möge angeführt werden, daß ich eine Anzahl hierher gehöriger Verbindungen erhielt, deren Zusammensetzung in der That einem einfachen und constanten Aequivalentverhältnisse entspricht.

Gelegentlich der Darstellung von Verbindungen des Kupfervitriols mit schwefelsaurem Kobalt- oder Nickeloxyd, über welche in der Arbeit von Rammelsberg nichts erwähnt wird, zeigte sich, daß derlei Gemische beim Krystallisiren ein Verhalten zeigen, das mit dem früher erwähnten nicht übereinstimmt. Es setzen sich nämlich aus solchen Lösungen, unbeschadet des vorhandenen Mischungsverhältnisses, stets Krystalle von ein und derselben Gestalt und Zusammensetzung ab. War nämlich Kupfervitriol in der Lösung im Ueberschusse vorhanden, so krystallisirte so lange davon in isolirtem Zustande heraus, bis jenes Aequivalentverhältniß in der Lösung hergestellt war. Wenn dagegen eines der leichter löslichen Salze von schwefelsaurem Kobalt- oder Nickeloxyd in der Lösung vorwaltete, so blieb der Ueberschuß in der Mutterlauge, und die in Rede stehenden Verbindungen setzten sich unmittelbar ab.

Die Krystalle, welche nun beim Verdunsten solcher Lösungen entstehen, enthalten 1 Aequivalent Kupferoxyd, 2 Aequivalente Kobalt- oder Nickeloxyd und 21 Aequivalente Wasser. Der Gestalt nach gehören sie aber dem triklinischen Systeme an und sind jener des Kupfervitriols sehr ähnlich, was vermöge ihres Wassergehaltes mit den bisher an anderen ähnlichen Verbindungen gemachten Beobachtungen nicht übereinstimmt¹⁾.

1) Ich hatte solche Krystalle schon vor längerer Zeit zu wiederholten Malen erhalten, und es befinden sich sehr schöne Exemplare davon in jener großen Krystallsammlung, die ich für die letzte Ausstellung in London übersandte und nachher dem britischen Museum schenkte. Wegen der großen

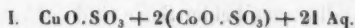
Weitere Versuche zeigten, daß das schwefelsaure Kupferoxyd ganz analoge Verbindungen auch mit den Sulphaten von Magnesia, Zinkoxyd und Eisenoxydul bildet. Es existirt somit eine dritte Reihe von Verbindungen des Kupfervitriols mit anderen Vitriolen, deren Zusammensetzung der Formel;



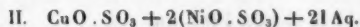
entspricht, die sich insbesondere dadurch als eine eigenthümliche charakterisirt, daß ihre Glieder im triklinischen Systeme krystallisiren.

Man erhält diese Verbindungen, wenn eine gesättigte Kupfervitriollösung bei gewöhnlicher Temperatur mit so viel von dem krystallisirten zweiten schwefelsauren Salze versetzt wird, als sie davon aufzunehmen vermag, und die erhaltene Lösung der freiwilligen Verdunstung überlassen wird. Die entstehenden Krystalle lassen sich leicht zu bedeutender Größe aufziehen. Für die analytische Untersuchung diente nur je ein Krystallindividuum.

Die nach der angeführten Formel berechneten und gefundenen Werthe sind für die einzelnen Salze folgende:



CuO	39,7	9,37	8,79
2CuO	75	17,70	17,85
3SO ₃	120	28,32	28,33
21HO	189	44,60	—



CuO	39,7	9,36	9,00
2NiO	75,2	17,74	18,20
3SO ₃	120	28,30	28,34
21HO	189	44,59	—

Ähnlichkeit der Gestalt mit dem Kupfervitriol schien es unzweifelhaft, daß sie nach dem Typus der gemischten Salze mit 5 Äquivalenten Wasser zusammengesetzt seyn mußten, was aber, wie nun die analytische Untersuchung zeigte, nicht der Fall ist.

III. $\text{CuO} \cdot \text{SO}_3 + 2(\text{MgO} \cdot \text{SO}_3) + 21\text{Aq.}$

CuO	39,7	10,21	—
2MgO	40	10,29	10,40
3SO ₃	120	30,87	30,92
21HO	189	48,62	—

IV. $\text{CuO} \cdot \text{SO}_3 + 2(\text{ZnO} \cdot \text{SO}_3) + 21\text{Aq.}$

CuO	39,7	9,23	9,44
2ZnO	81,2	18,89	—
3SO ₃	120	27,91	28,18
21HO	189	43,96	43,95

V. $\text{CuO} \cdot \text{SO}_3 + 2(\text{FeO} \cdot \text{SO}_3) + 21\text{HO.}$

CuO	39,7	9,43	—
2FeO	72	17,11	15,61
3SO ₃	120	28,52	28,50
21HO	189	44,92	—

Das Nickelsalz verwittert rasch und auch das Eisensalz verändert sich an der Luft, die übrigen Salze sind luftbeständig.

Hr. A. Brezina war so gütig im Hofmineraliencabinete eine krystallographische Bestimmung des Kobalt- und Nickelsalzes auszuführen, und theilte mir Folgendes darüber mit:

»Die Krystallformen beider Salze sind vollkommen gleich. Das Krystalssystem ist triklinisch.«

Die gewöhnliche Form in der diese Verbindungen vorkommen ist Fig. 1 eine Combination von (100) — *r*, (010) — *n* und (101) 0. Untergeordnet treten noch kleine Abstumpungsflächen an den Ecken 010, 101, $\bar{1}00$ — 101, $\bar{1}00$, $0\bar{1}0$ — 100, $0\bar{1}0$, $10\bar{1}$ auf.

Die Flächen von *n*, *r*, 0, sind die analogen vom Kupfervitriol. Die nachfolgenden Messungen beziehen sich auf die Neigungen der drei herrschenden Flächen. In der zweiten Columne sind die analogen Winkelwerthe des Kupfervitriols nach Miller angegeben.

$$r(100):n(010) = 79^\circ 15' \quad 79^\circ 19'$$

$$r(100):0(101) = 83^\circ \quad 85^\circ 14'$$

$$n(010):0(101) = 100^\circ \quad 105^\circ 33'$$

D
übrig
sind
vitrio
Form

n

D
welc
tisch
riabl
sont
weni
gen

A
dafs
Kup
Sinn
Epis
wen
nich
deut
sind

Der Winkel rn ist der einzige genau meßbare, die übrigen sind nur auf einige Grade genau bestimmbar. Es sind demnach die beiden Salze isomorph mit dem Kupfervitriol. Fig. 2 giebt noch eine Projection der gewöhnlichen Form.«

Fig. 1.

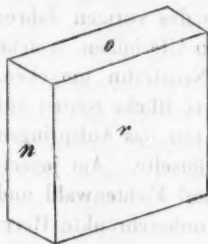
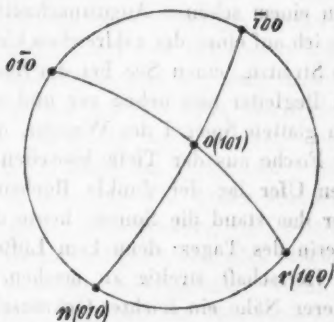


Fig. 2.



Die Isomorphie dieser beiden Salze mit den anderen, welche hier aufgeführt werden, liefs sich auf eine sehr praktische Art beweisen, da sämmtliche Salze nicht nur in variablen Verhältnissen gemischt mit einander krystallisiren, sondern auch Krystalle des Kobaltsalzes, welches das am wenigsten lösliche in dieser Reihe ist, in gesättigten Lösungen des Magnesia-, Zink- und Eisensalzes fortwachsen.

Aus der krystallographischen Bestimmung geht hervor, dafs eine grofse Aehnlichkeit der Gestalt mit jener des Kupfervitriols besteht, von einer Isomorphie im eigentlichen Sinne kann aber nicht die Rede seyn. Erscheinungen des Episomorphismus treten an Krystallen von Kupfervitriol, wenn sie in Lösungen dieser Salze gebracht werden, auch nicht auf. Die Aehnlichkeit ihrer Gestalt mit Kupfervitriol deutet daher auf keine Relation mit letzterem, sondern es sind diese Verbindungen selbstständige Doppelsalze.

VIII. *Beitrag zur Erklärung der Windstöße;*
 von Dr. Th. Reishaus,

Gymnasial-Lehrer in Stralsund.

An einem schönen Augustnachmittage des vorigen Jahres saß ich auf einer der zahlreichen kleinen Uferhöhen, welche den Streitzig, einen See bei der Stadt Neustettin, umgeben. Ein Begleiter saß neben mir und unsere Blicke ruhten auf dem glatten Spiegel des Wassers, den nur das Aufspringen der Fische aus der Tiefe bisweilen kräuselte. Am jenseitigen Ufer lag der dunkle Buchen- und Fichtenwald und über ihm stand die Sonne, heute die unbeschränkte Herrscherin des Tages; denn kein Lüftchen regte sich, um ihr die Herrschaft streitig zu machen. Plötzlich erschien in unserer Nähe ein leichtes Gekräusel des Wassers am Fusse eines Uferhügels, der dem unserigen zunächst lag, und dessen Abdachung nach dem Wasser zu fast senkrecht von den Strahlen der Sonne getroffen wurde. Das übrige Wasser blieb spiegelglatt. Ich machte meinen Begleiter auf die eigenthümliche Form des Umfangs der gekräuselten Fläche aufmerksam, welche offenbar von der Fläche des Abhanges abhängig war. Nach fünf Minuten war die Kräuselung verschwunden und der Spiegel wieder hergestellt. Ich sprach die Erwartung aus, daß an derselben Stelle bald wieder ein Gekräusel sich zeigen würde, und forderte meinen Begleiter auf, deshalb noch ein Wenig zu verweilen. In der That, nach etwa zehn Minuten war das Gekräusel wieder da und in derselben Form, wie vorher. Nachdem auch dieß wieder verschwunden, brachen wir auf und setzten unseren Spaziergang nach dem Walde fort. Mein wißbegieriger Begleiter aber fragte mich, wie ich das hätte denken können, daß die Erscheinung wiederkehren würde. Ich erklärte ihm, daß nach meiner Vermuthung die senkrechten Strahlen der Sonne den Hügelabhang ganz besonders erwärmten, der seine Wärme wieder der auf ihn ruhenden

Lufts
leicht
tere
Kräu
schien
winzi
licher
den
so st
Ursa
Ersch
stand
viele
über
stärk
leren
sond
Dec
Stra
Athe
losb
wir
die
die
gen
loch

ein
den
die
ser
wie
dur
stö
hak
die
mu
F

Luftschicht mittheilte, so dafs diese sich ausdehnte, und als leichtere Luft in die Höhe stiege, vom Wasser aber kältere Luft nachdränge und die Bewegung der letzteren die Kräuselung des Wassers verursachte. Die Sache selbst schien mir so einfach und als wissenschaftlicher Beitrag zu winzig, als dafs ich damals diese Erscheinung hätte veröffentlichen mögen. Heute indessen, als der heftige Westwind, den wir nach der langen Hitze des Juli bekommen haben, so stofsweise in's Land hineinfegte, und ich mich nach der Ursache der Stösse fragte, fiel mir die oben beschriebene Erscheinung wieder ein und schien mir über den Gegenstand meiner Frage einiges Licht zu verbreiten. Recht viele Winde, ich weifs es nicht, ob alle, gehen stofsweise über das Land, d. h. es findet Abwechselung statt zwischen stärkerer und geringerer Geschwindigkeit, bisweilen in schnellerer Aufeinanderfolge, bisweilen in langsamer. Ganz besonders aufgefallen ist mir, dafs bei den November- und Decemberstürmen, welche mit furchtbarer Gewalt durch die Strafsen flattern; dann aber gleichsam um zu neuem Stosse Athem zu schöpfen, eine Pause machen, und alsbald wieder losbrechen. Eine ähnliche Erscheinung ist auch die, welche wir an unseren Oefen beobachten: durch die Heizthür tritt die Luft nicht in continuirlichem Zuge, sondern stofsweise; die Stösse sind dabei um so heftiger und die zwischenliegenden Pausen um so gröfser, je näher das Feuer dem Zugloch in der Heizthür ist.

Meine Beobachtung am Streitzig zeigte nun, dafs erst eine Zeit der Ruhe vorübergehen mufste, ehe die Luft über dem Abhange erwärmt und ausgedehnt genug war, um in die Höhe zu steigen und der kälteren Luft über dem Wasser das Eindringen zu gestatten. Die letztere mufste dann wieder eine Ruhezeit der Erwärmung und Ausdehnung durchmachen und so entstanden die periodischen Windstösse. Auch die Erscheinung am Ofen, welche ich erwähnt habe, läfst sich auf ähnliche Weise erklären, die kalte Luft, die aus dem Zimmer in den Heizraum des Ofens strömt, mufs dort erst erwärmt werden, ehe sie ihren Abzug durch

durch die Züge in den Schornstein nimmt. Ist das Feuer weiter von dem Zugloch der Heizthür entfernt, so findet diese Erwärmung allmählich statt, und der Zug wird dann fast ein continuirlicher.

Es wird gerechtfertigt seyn von diesen Erscheinungen im Kleinen auf die großen Bewegungen der Atmosphäre zu schließen, da hier wie dort die Luftströmung im Allgemeinen die Folge von Temperatur-Unterschieden ist. Die Erscheinung der *Fata Morgana*, welche eine ruhende, *aufgelockerte* Luftschicht über dem Boden voraussetzt, liefert den Beweis, daß unter den Tropen die wärmere Luft, obgleich sie leichter ist, dennoch eine Zeit lang zögert, ehe sie sich vom Boden erhebt und in die Höhe steigt. Noch sprechender ist die Region der Calmen mit ihren gewaltigen Windstößen, welche von Zeit zu Zeit die schwüle Ruhe unterbrechen.

Wir gewinnen aus den angeführten Thatsachen die Vorstellung, daß die Luft, welche auf dem erwärmten Boden liegt, eine Zeit der Ruhe bedarf, in der sie sich erwärmen und ausdehnen läßt. Schließlich weicht sie dem größeren Druck der kälteren Seitenluft, steigt in die Höhe und an ihre Stelle tritt die kältere Luft von der Seite, und derselbe Vorgang wiederholt sich. Die Zeit der Ruhe wird um so größer seyn, je größer die Fläche ist, auf welcher die Luftschicht ruht und erwärmt wird, da das Eindringen der kälteren Luft von den Rändern her geschieht und deshalb die Luft im Innern um so später veranlaßt wird, vor der schwereren Seitenluft in die Höhe zu entweichen, je größer die Fläche ist. Sie wird aber dann mit um so größerer Masse aufsteigen und das Nachströmen der kalten Luft wird dann um so gewaltiger seyn, wie die Gewitterstürme in der Region der Calmen zeigen.

In der Mitte des Sommers erwärmt die Sonne die Continentalmassen von Europa und Asien; aber es vergeht oft wie in diesem Jahre und im Jahre 1858, lange Zeit, ehe der seitliche Wind einzudringen vermag in äußerst aufgelockerte Luft. Mir ist unbekannt, ob schon Beobachtung

gen
liche
in s
im
im
inde
Stre
erlä
schw
und
steh
erob
find
Stoß
des
geru
erw
The
groß
Einc
hand
gen
auf

tens
erkl
vern
den
Wi
S
1)

gen gemacht sind über die Art und Weise, wie der westliche Wind in den Continent eindringt. Hr. Dove giebt in seiner Erklärung der Ueberschwemmungen im Harze und im Riesengebirge im Jahre 1858 ¹⁾ nur an, daß allgemein im nördlichen Deutschland NW. geweht habe. Es scheint indessen so, als ob der kalte W. oder NW. sich jede Strecke Landes erkämpfen müsse. Bei jedem Vordringen erfährt er zunächst eine Erwärmung, büßt dabei seine Geschwindigkeit ein, und staut die nachdringende Luft an, und aus dieser schrittweisen Erwärmung und Stauung entstehen die Windstöße, in denen der westliche Wind jetzt erobernd über Europa hereingebrochen ist. Vermuthlich findet aber außer diesen schnell auf einander folgenden Stößen in dem Gange des Windes noch eine Periodicität des Windes von langen Intervallen statt, dadurch hervorgerufen, daß der immer weiter vordringende W. so sehr erwärmt und aufgelockert wird, daß er selbst zu einem Theile der continentalen Luftmasse wird und dadurch eine großartige Stauung der nachdringenden Seeluft veranlaßt. Eine Bemerkung des Hrn. Dove in der angeführten Abhandlung über die nach den deutschen Ueberschwemmungen eingetretenen in Ungarn und der Turkey scheint darauf hinzudeuten.

Ob indessen die Erscheinung des stoßweisen Fortschreitens der Winde ganz allgemein auf die obige Weise zu erklären sey, muß ich dahingestellt seyn lassen; es läßt sich vermuthen, daß der Zusammenhang der Erscheinung bei den Novemberstürmen ein complicirter ist.

Mögen die Meister diesen Beitrag eines Liebhabers der Witterungskunde fürlieb nehmen.

Stralsund, den 29. Juli 1865.

1) Pogg. Ann. Bd. 105, S. 490.

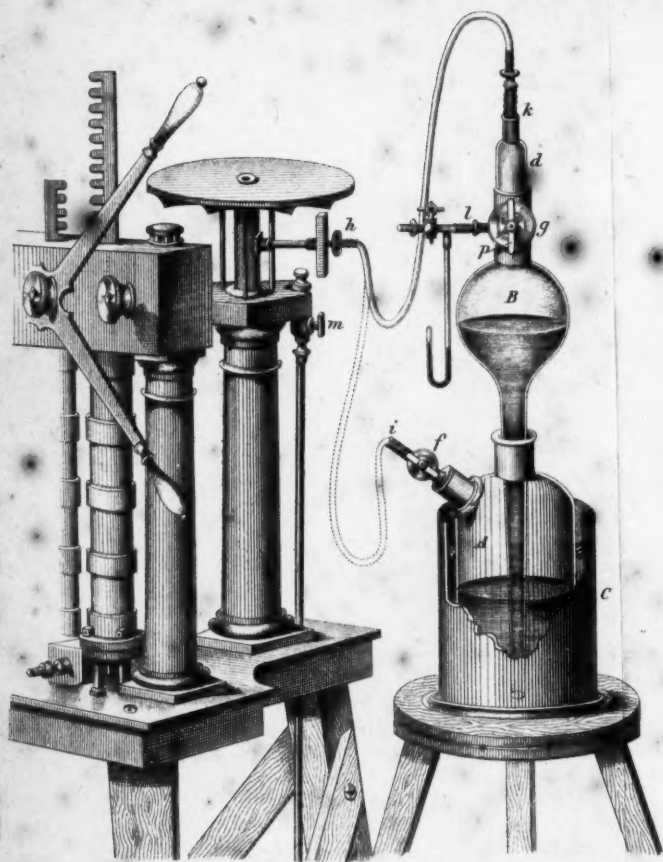
IX. Statistik der Blitzschläge.

Nach Hrn. Boudin (*Cosmos*, 1865, Vol. II, p. 29) sind in Frankreich innerhalb der Jahre 1835 bis 1863 vom Blitz unmittelbar getödtet: 2238 Personen, jährlich im Maximo 111, im Minimo 48; doppelt so viel wurden verletzt. Unter 880, die von 1854 bis 1863 erschlagen wurden, waren 243 oder 26,7 Proc. weiblichen Geschlechts; auch wo der Blitz auf Menschengruppen beiderlei Geschlechts einschlug, tödtete er vorzugsweise die Personen des männlichen. Bei Viehheerden blieben die Hirten häufig verschont. Es giebt Fälle, wo Menschen mehrmals vom Blitz getroffen wurden; einer wurde innerhalb 15 Jahren 2 Mal am linken Fuß verletzt, ein anderer in drei verschiedenen Wohnungen 3 Mal vom Blitz getroffen. Ungefähr ein Viertel der vom Blitz Getroffenen oder Erschlagenen hatte Schutz unter Bäumen gesucht. Selbst Buchen bleiben nicht immer von Blitzschlägen verschont, wie Maxwell glaubt.

X. Magnesiumlicht.

Zufolge der Angabe des Hrn. Troost, Prof. d. Chemie am Lycée Bonaparte, entwickelt ein Magnesiumdraht von 97^{mm} Länge und 0^{mm},33 Dicke bei seiner Verbrennung so viel Licht als 64 Kerzen und diese Intensität steigt auf 110, wenn die Verbrennung in Sauerstoff geschieht. Er erwähnt auch noch, daß man, nach Hrn. Leroux's Entdeckung, ein ebenso intensives und zugleich viel wohlfeileres Licht erhält, wenn man statt des reinen Magnesiums eine Magnesium-Zink-Legirung verbrennt (*Cosmos*, 1865, Vol. I, p. 533).

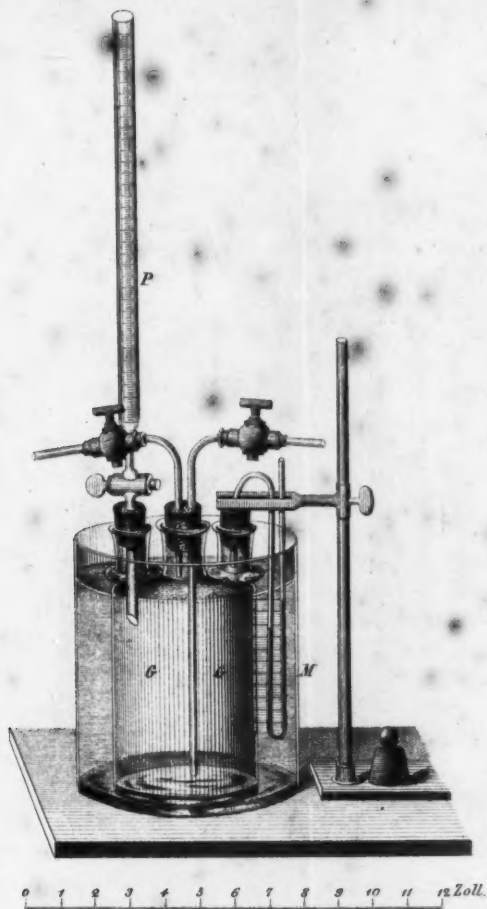


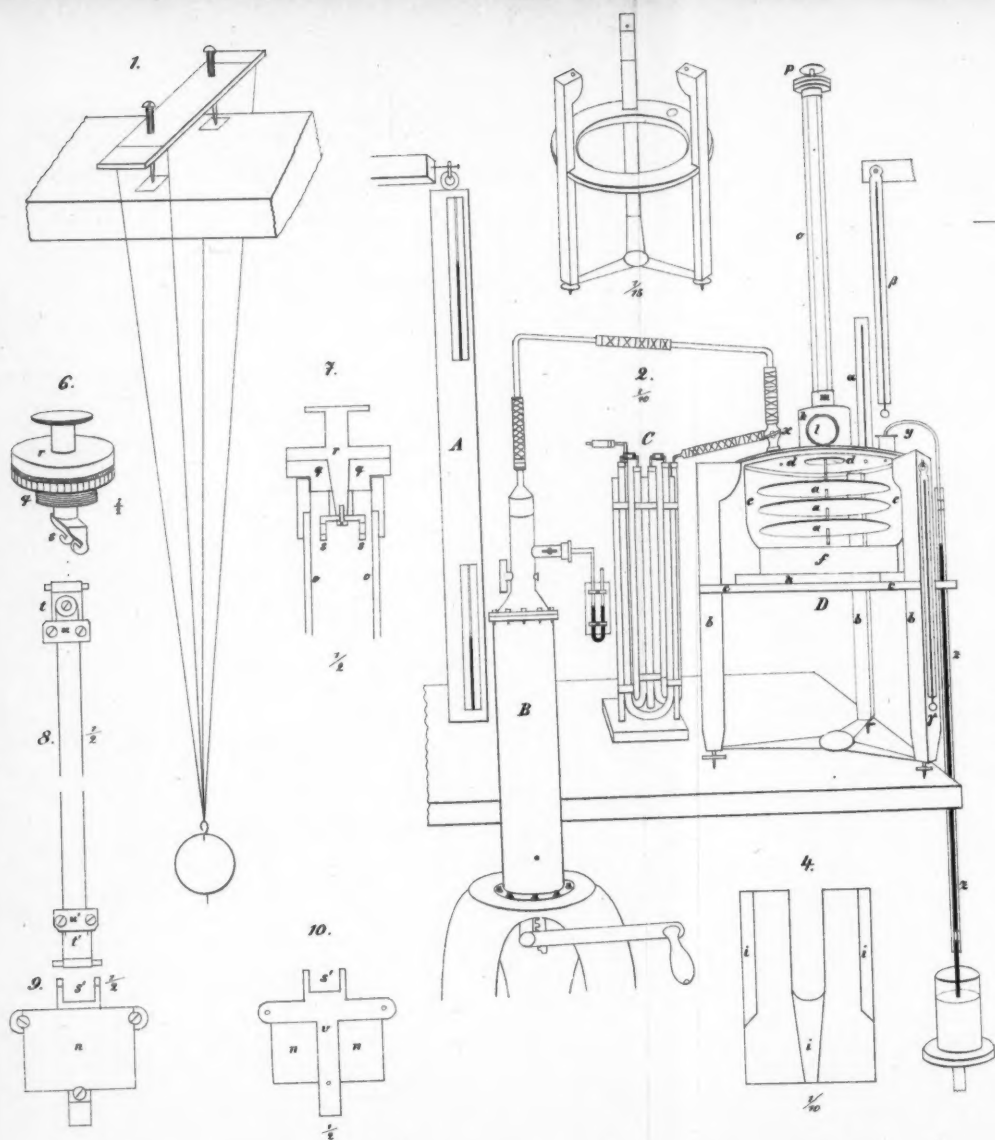


Zoll 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 2 Fuss.

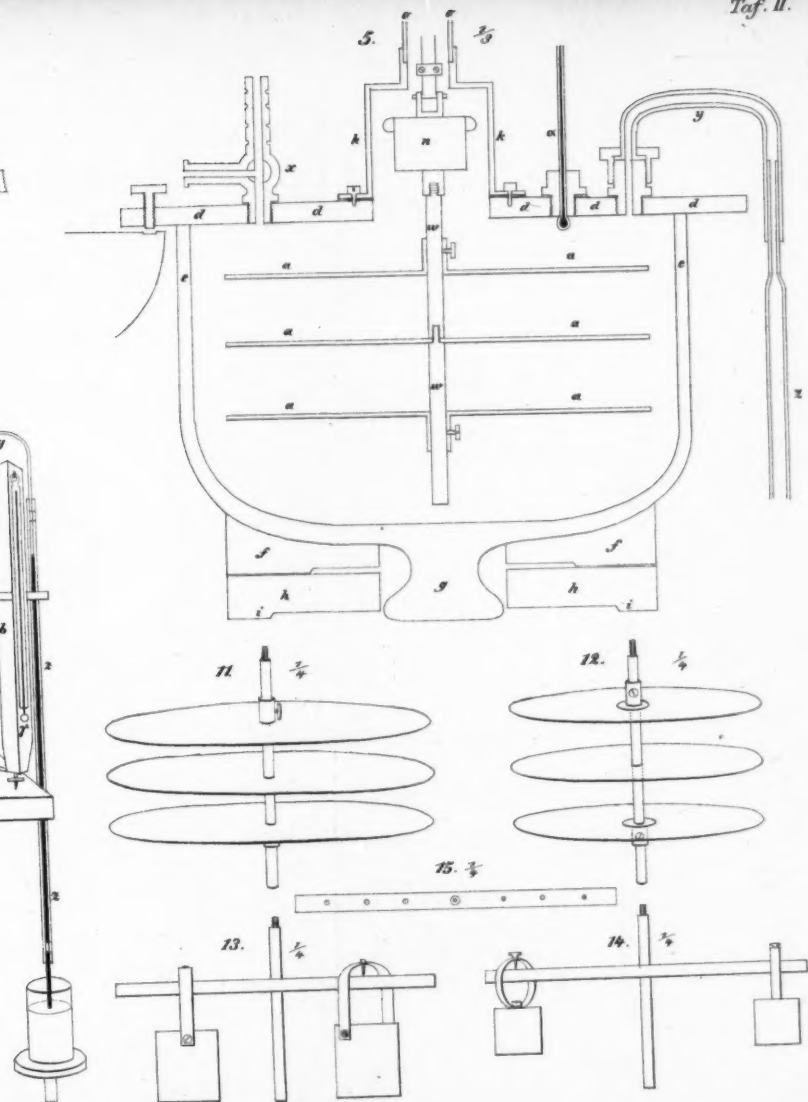
Gez. u. lith. von C. Laue.

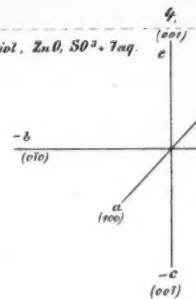
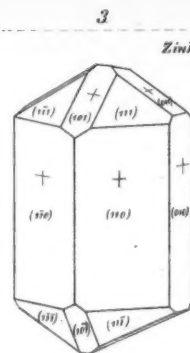
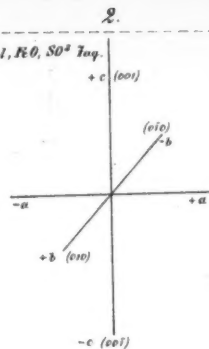
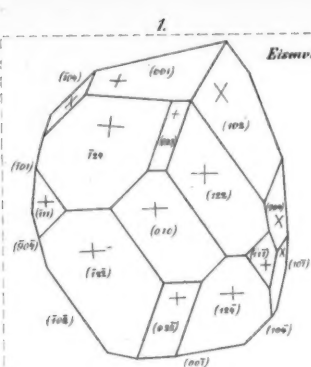
Tafel I.



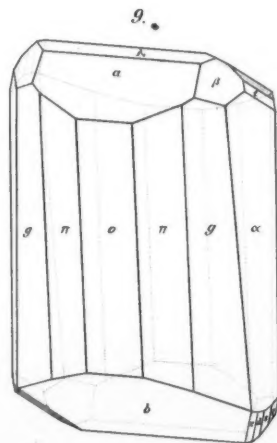
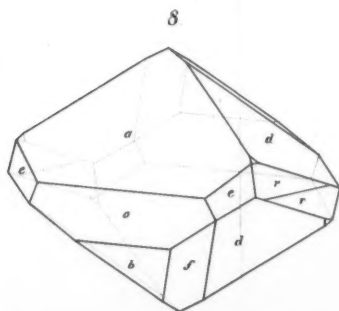
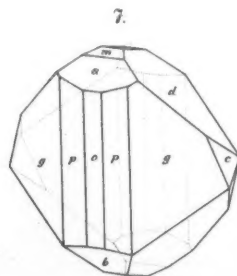
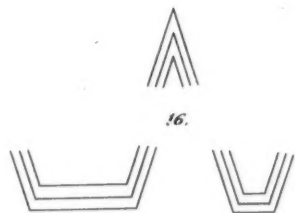
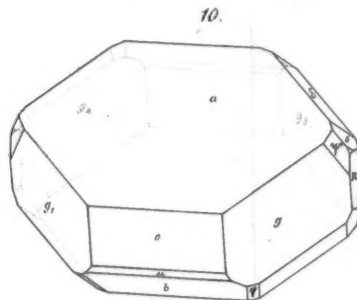
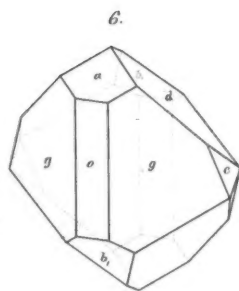


2. Schütze in Stein gest.

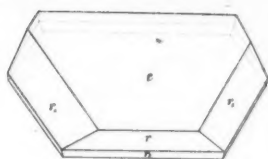
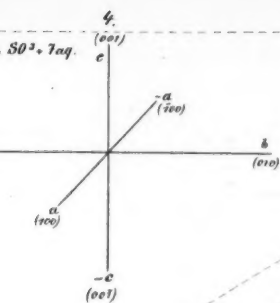




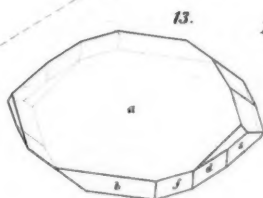
Miargyrit von Braunendorf.



in Schlinge in Stein gest.

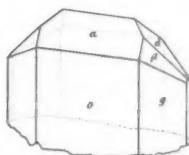


Unterschwefelsaures
Bleioxyd. $PbO \cdot 5SO^2 \cdot 4aq.$
6 gliedr.

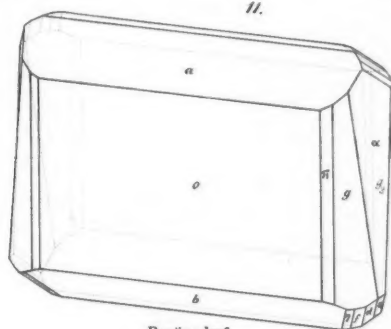


Parenes.

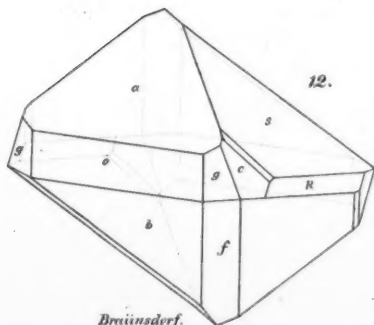
Niarggrit.



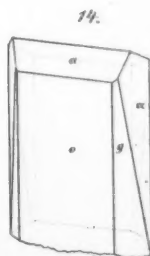
Petrosi.



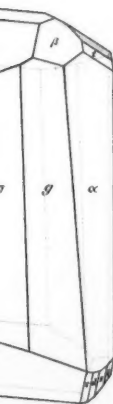
Braunsdorf.

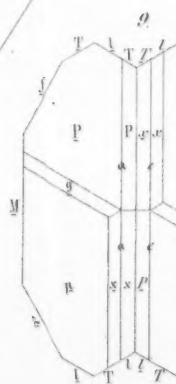
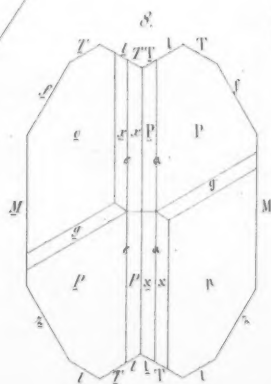
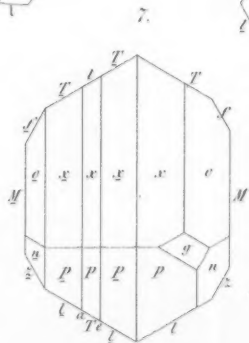
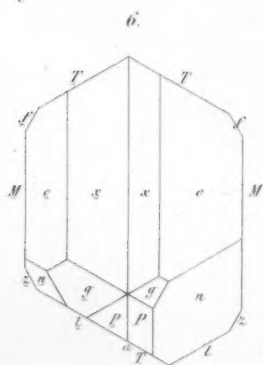
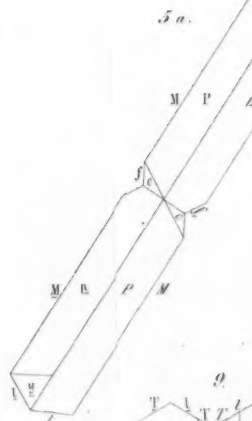
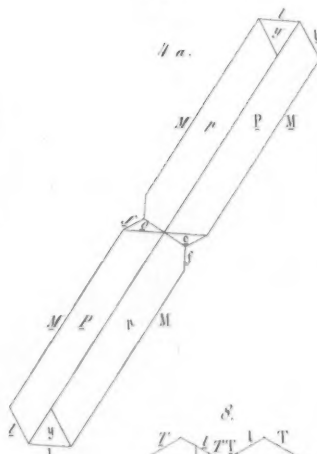
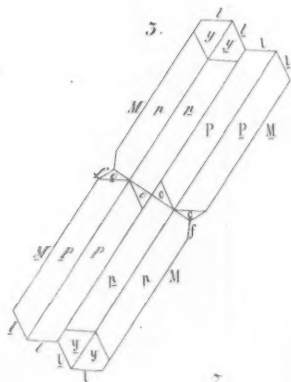
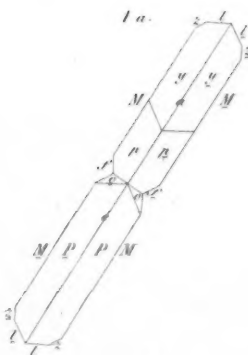
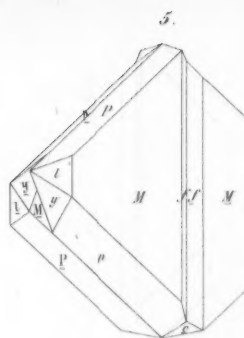
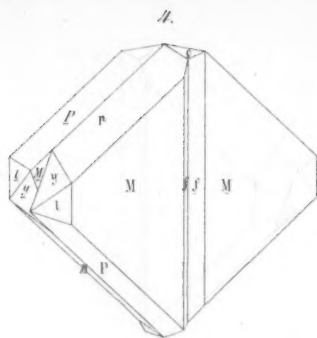
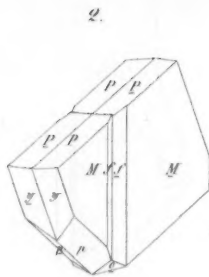
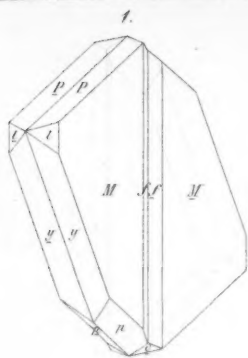


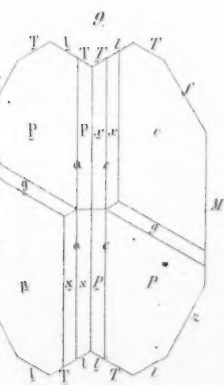
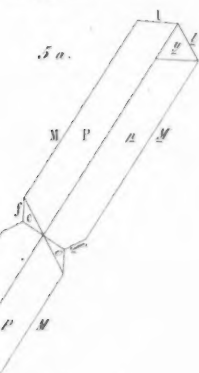
Braunsdorf.



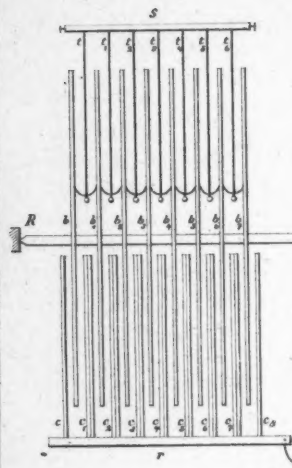
Petrosi.



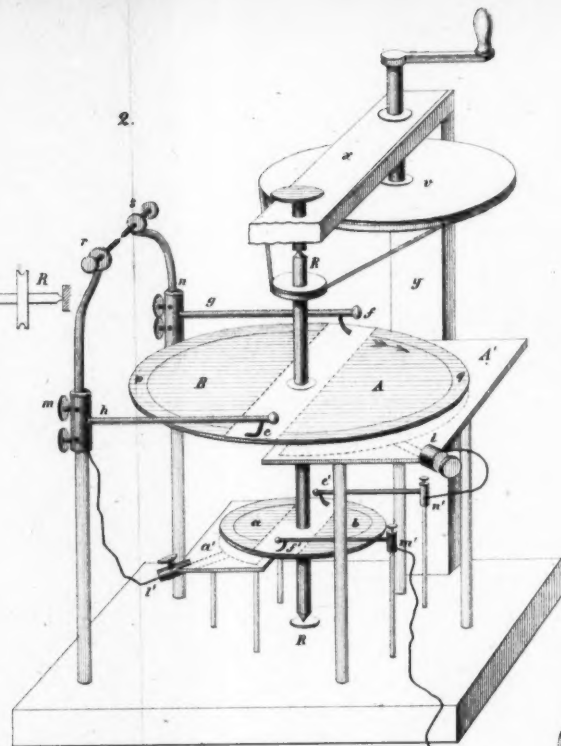




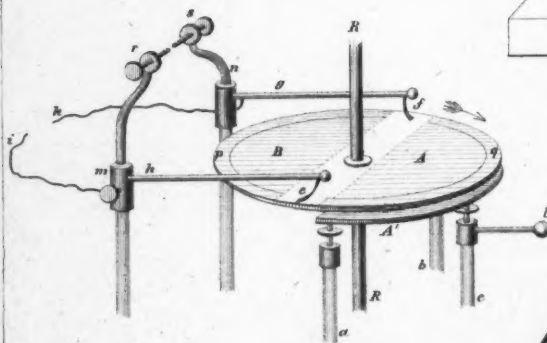
3.



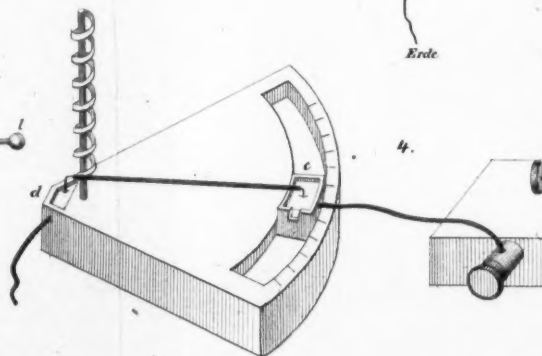
2.



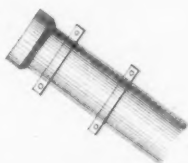
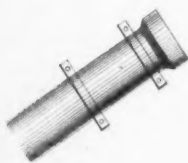
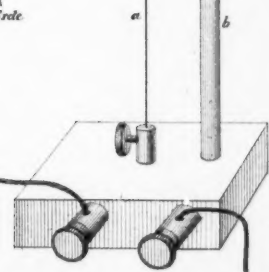
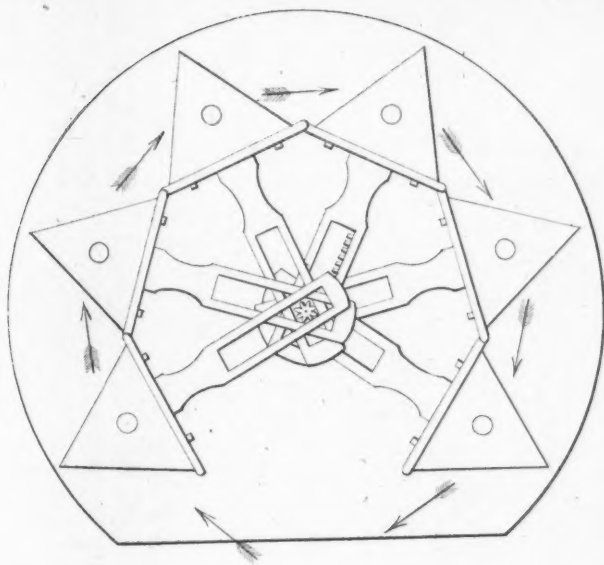
1.



4.



schütz in Stein gest.



6.

